

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ЦНИИ
«ГРАНИТ»



ЭЛЕКТРОННАЯ
ПРОДУКЦИЯ

2(15)/2005

Коржавин Георгий Анатольевич



Генеральный директор
ЦНИИ «Гранит», кандидат
технических наук

Уважаемые читатели!

В этом тематическом выпуске журнала нашему институту предоставлена возможность осветить некоторые аспекты научно-технической деятельности, имеющей широкое прикладное значение и представляющей интерес для специалистов, занятых в области создания сложных радиоэлектронных комплексов управления.

В публикуемых статьях отражен опыт ЦНИИ «Гранит» в проектировании сложных корабельных и бортовых комплексов, а также математическом и полунатурном моделировании, современный подход к интеграции и универсализации аппаратных решений в проектируемых комплексах.

Авторами статей являются ведущие ученые института, работающие в таких областях как радиолокация и динамика управления полетом, вычислительные многомашинные комплексы с участием операторов, тренажерные комплексы обучения, стенды натурной, полунатурной и комплексной обработки аппаратуры.

Этот номер журнала выпускается совместно с коллективом ученых ГУАП, с которыми мы поддерживаем тесные связи, как в научном, так и в учебном плане. Надеюсь, что публикуемые материалы, являясь хорошей рекламой ЦНИИ «Гранит», помогут определиться многим молодым специалистам в направлениях своей деятельности. Двери нашего института для них всегда открыты.

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Г. Ф. Мощенко

Редакционный совет:

Председатель А. А. Оводенко,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Васильев,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Козлов,
доктор технических наук, профессор
Ю. Ф. Подоплекин,
доктор технических наук, профессор
Д. В. Пузанков,
доктор технических наук, профессор
В. В. Симаков,
доктор технических наук, профессор
А. Л. Фрадков,
доктор технических наук, профессор
Л. И. Чубраева,
доктор технических наук, профессор, чл.-корр. РАН
Р. М. Юсупов,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия:

В. Г. Анисимов,
доктор технических наук, профессор
В. Ф. Мелехин,
доктор технических наук, профессор
А. В. Смирнов,
доктор технических наук, профессор
В. А. Фетисов,
доктор технических наук, профессор
В. И. Хименко,
доктор технических наук, профессор
А. А. Шалыто,
доктор технических наук, профессор
А. П. Шепета,
доктор технических наук, профессор
З. М. Юлдашев,
доктор технических наук, профессор

Редактор: Л. М. Манужрян

Корректор: Т. Н. Гринчук

Дизайн: М. Л. Черненко

Компьютерная верстка: О. В. Васильева,

А. А. Буров

Ответственный секретарь: О. В. Муравцова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67

Тел.: (812) 110-66-42, (812) 313-70-88

Факс: (812) 313-70-18

E-mail: iis@iisnet.ru

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 января 2002 г.

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить в любом отделении связи по каталогам агентства «Роспечать»: «Газеты и журналы» – № 15385, «Издания органов НТИ» – № 69291

ФГУП «ЦНИИ «Гранит»

2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Коржавин Г. А. Математическая модель оценки оптимального архитектурного обеспечения корабельных систем управления различного назначения

3

Шепета А. П., Бажин С. А., Давидчук А. Г. Экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей, наблюдаемых локаторами бортовых систем обработки информации

7

Подоплекин Ю. Ф., Андриевский В. Р. Выбор критических реализаций и его сочетание с другими методами ускорения статистического эксперимента

13

Антонов П. Б., Коржавин Г. А., Симановский И. В. Моделирование перспективных корабельных систем управления

16

Андриевский В. Р., Симановский И. В., Подоплекин Ю. Ф. Комплексная обработка сложных систем методом полунатурного моделирования

18

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ

Никольцев В. А., Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф., Васильевский А. С. Перспективные тенденции в проектировании технических комплексов кораблей ВМФ

22

Войнов Е. А., Подоплекин Ю. Ф. Классификация надводных объектов по радиолокационному изображению

29

Мальцев О. Г. Оценка числа объектов в группе по результатам их обнаружения радиолокационными станциями многопозиционной радиолокационной системы

32

Лось А. П., Войнов Е. А. Развитие методов классификации процессов в дискретном времени по прямым и косвенным измерениям

36

Шаров С. Н. Оценка точности измерения параметров движения источника излучения маневрирующим пеленгатором

39

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И СРЕДЫ

Симановский И. В., Войнов Е. А. Геометрия синтеза апертур при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности

47

Богданов В. С., Кедров В. Д., Тазьба А. М. Особенности построения интегрированных интеллектуально-спутниковых навигационных систем

51

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Васильевский А. С., Коржавин Г. А., Антонов П. Б. Основные принципы построения тренажеров сложных комплексов управления объектами

55

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

58

АННОТАЦИИ

61

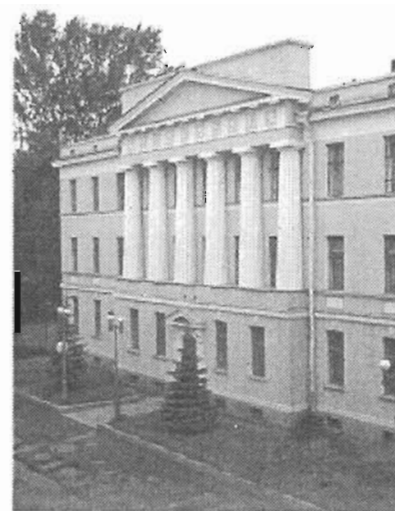
ЛР № 010292 от 13.08.98.

Сдано в набор 30.02.2005. Подписано в печать 20.04.2005. Формат 60×90 мм. Бумага офсетная. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 1000 экз. Заказ 121.

Оригинал-макет изготовлен в отделе электронных публикаций и библиографии ГУАП. 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

Отпечатано с готовых диапозитивов в отделе оперативной полиграфии ГУАП. 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ГРАНИТ»



ЦНИИ «Гранит» создан 18 июля 1921 года, когда на основании Постановления Совета Труда и Обороны в Петрограде было организовано Особое техническое бюро по военным изобретениям специального назначения (Остехбюро). В 1930-х годах Остехбюро выросло в многоцелевую научно-исследовательскую организацию, занимавшуюся разработкой и изготовлением новой техники для оснащения советского Военно-Морского Флота.

В 1939 году был создан научно-исследовательский институт НИИ-49, специализировавшийся в области морского приборостроения для кораблей Военно-Морского Флота СССР. Созданное в институте оружие внесло достойный вклад в дело разгрома фашистской Германии.

В послевоенные годы ЦНИИ «Гранит» проводил разработки радиоэлектронной аппаратуры по следующим основным направлениям:

– системы управления (корабельные и бортовые) противокорабельными крылатыми ракетами для вооружения надводных кораблей основных классов и подводных лодок; работы по созданию этого принципиально нового оружия, где наша страна занимает мировое лидерство, возглавлял генеральный конструктор академик В. Н. Челомей, среди этих разработок – системы управления для первой в мире подводной крылатой ракеты с подводным стартом «Аметист», комплексов подводных крылатых ракет П-6, «Базальт», «Вулкан» и «Гранит» – этим оружием оснащены многие корабли Военно-Морского Флота, в том числе тяжелые авианесущие крейсера типа «Киев», «Адмирал флота Советского Союза

Н. Г. Кузнецов», тяжелые ракетные крейсера типа «Петр Великий», ракетные крейсера типа «Маршал Советского Союза Устинов» и многие другие;

– радиолокационные станции для подводных лодок всех поколений и классов – эти разработки были первыми в стране; на сегодняшний день институт остается единственным разработчиком подобной аппаратуры;

– системы управления противолодочной обороны надводных кораблей Военно-Морского Флота России;

– радиолокационные системы обнаружения и целеуказания ракетному оружию.

Высокий научно-технический уровень разработок ЦНИИ позволил ему выйти на международный рынок и заключить ряд контрактов на разработку и поставку радиоэлектронных систем для кораблей Военно-Морского Флота ряда зарубежных стран.

В этом выпуске журнала представлены статьи сотрудников ЦНИИ «Гранит», которые отражают результаты многолетних научных изысканий и перспективные направления исследований в области создания современных систем управления противокорабельными крылатыми ракетами.

Россия
191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная, 3

Тел.: +7 (812) 271-6756
Факс: +7 (812) 274-6339

E-mail: cri-granit@peterlink.ru

УДК 623 4 084

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОГО АРХИТЕКТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г. А. Коржавин,

канд. техн. наук, генеральный директор

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Приводится математическая модель, лежащая в основе построения наиболее перспективных вариантов архитектурного построения корабельных систем управления (КСУ).

The mathematical model being the basis of the development of the most perspective versions of the architectural construction of shipborne control systems (SCS) is listed.

Постановка задачи оценки оптимальности архитектурного обеспечения корабельных систем управления

В настоящее время можно выделить следующие задачи, решаемые математической моделью оценки оптимального архитектурного обеспечения корабельных систем управления (КСУ) [1]:

- обеспечение количественной оценки любого варианта архитектурного построения КСУ;

- выбор (отбор) одного-двух наиболее перспективных вариантов построения КСУ на конкретном ограниченном множестве его архитектурных структур;

- обеспечение обоснованного распределения алгоритмов КСУ по его вычислительным средствам.

КСУ, являясь сложными системами управления [1, 2], имеют сложную структуру, состоящую из нескольких функциональных контуров управления. В связи с этим при проектировании КСУ задача его архитектурного построения распадается на две задачи:

- 1) определение облика КСУ на верхнем уровне – уровне выбора укрупненного облика его вычислительных контуров;

- 2) определение облика КСУ на нижнем уровне – уровне выбора структуры каждого из вычислительных контуров.

Решение задачи выбора структуры КСУ осуществляется в два этапа (на верхнем и нижнем уровнях). В соответствии с вышеизложенным задача распределения алгоритмов по вычислительным средствам КСУ также решается в два этапа: 1) распределение задач по вычислительным контурам КСУ; 2) распределе-

ние задач по вычислительным средствам каждого контура КСУ.

В качестве основных критериев, лежащих в основе проектирования современных и перспективных КСУ, используются [1–3]:

- эффективностный критерий, связанный с выполнением КСУ поставленных перед ней задач;

- временной критерий, связанный с учетом сроков ограничений на разработку КСУ;

- модернизационный критерий, определяющий модернизационный запас КСУ,

- стоимостный критерий, определяющий стоимость КСУ;

- массогабаритные и энергетические критерии, характеризующие соответствующие параметры КСУ

Любой из критериев, лежащих в основе проектирования КСУ, практически (см. [2, 3]) является аддитивным критерием контуров, из которых состоит КСУ, где контур характеризуется набором решаемых задач, а также вычислительными средствами, отнесенными к контуру.

Математическая модель оценки архитектурного обеспечения КСУ верхнего уровня – уровня определения ее контуров

На верхнем уровне архитектурного обеспечения КСУ определяются:

- число вычислительных контуров;

- общие характеристики каждого контура,

- алгоритмический состав задач каждого контура.

Задача верхнего уровня распадается на две математические модели:

1) модель определения оптимального по критерию стоимости набора вычислительных контуров КСУ и их основных характеристик (объем памяти, быстродействие, суммарные пропускные возможности каналов и т. д.), полностью реализующих заданный набор алгоритмов при ограничениях, наложенных на массогабаритные, энергетические, модернизационные и временные характеристики КСУ;

2) модель, обеспечивающая отбор среди предложенных вариантов построения КСУ той структуры, которая оптимизирует критерий стоимости, при строгих ограничениях на массогабаритные, энергетические и временные критерии.

Первая математическая модель заключается в нахождении таких булевых переменных x_{ij} (i – номер контура КСУ; j – номер алгоритма, $x_{ij} = 1$, если j -й алгоритм решается в i -м контуре, иначе $x_{ij} = 0$), которые минимизируют стоимость аппаратуры КСУ

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^M S_{в.с}^{(i)} = & \sum_{i=1}^M \beta_1^1 \left(\sum_{j=1}^N x_{ji} V_{он}^{(j)} (1 + \alpha_{он}) \right) + \\ & + \sum_{i=1}^M \beta_1^2 \left(\sum_{j=1}^N x_{ji} V_{д}^{(j)} (1 + \alpha_{д}) \right) + \\ & + \sum_{i=1}^M \beta_1^3 \left(\sum_{j=1}^N x_{ji} c^{(j)} (1 + \alpha_{с}) \right) + \\ & + \sum_{i=1}^M \beta_1^4 \left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N x_{jk} A_{jk} + \sum_{s=1}^N \sum_{j=1}^N x_{js} B_{js} \right) (1 + \alpha_{з.к}) \end{aligned} \quad (1)$$

(M – число контуров в КСУ, N – число алгоритмов) при ограничениях:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й алгоритм реализуется} \\ & \text{в } i\text{-м контуре;} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \leq 1 \quad (3)$$

(каждый алгоритм реализуется в КСУ не более одного раза) и ограничения на массогабаритные, энергетические, временные характеристики КСУ:

$$\sum_{i=1}^M M_{в.с}^{(i)} \leq M_{в.с} \text{ (масса);} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M W_{в.с}^{(i)} \leq W_{в.с} \text{ (объем),} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M T_{в.с}^{(i)} \leq T_{в.с} \text{ (время изготовления);} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^M L_{в.с}^{(i)} \leq L_{в.с} \text{ (расход энергии).} \quad (7)$$

В формулах (1, 4–7) использованы следующие обозначения.

– $S_{в.с}^{(i)}$ – стоимость аппаратуры (вычислительных средств) i -го контура, $i = \overline{1, M}$;

– $V_{он}^{(j)}, V_{д}^{(j)}$ – потребность в оперативной и долговременной памяти (Кбайт) для реализации j -го алгоритма соответственно, $j = \overline{1, N}$;

– $c^{(j)}$ – потребность по быстродействию (кор.-оп./сек) для реализации j -го алгоритма, $j = \overline{1, N}$;

– A_{jk} – загрузка системы (БОД), связанная с взаимодействием j -го и k -го алгоритмов, $j, k = \overline{1, N}$;

– B_{js} – загрузка системы (БОД) при связи j -го алгоритма с s -й внешней системой, $j = \overline{1, N}, s = \overline{1, N}$;

– $\alpha_{он}, \alpha_{д}, \alpha_{с}, \alpha_{з.к}$ – модернизационный запас (в долях от 1) по оперативной (оп) и долговременной (д) памяти, быстродействию (б) и загрузке каналов связи (з.к), принимаемый при проектировании КСУ;

– $\beta_1^1, \beta_1^2, \beta_1^3, \beta_1^4$ – коэффициенты стоимости единицы ресурсов (по оперативной и долговременной памяти, быстродействию, пропускной способности внутренних и внешних каналов связи), принятые в КСУ по каждому контуру, $i = \overline{1, N}$;

– $M_{в.с}^{(i)}, W_{в.с}^{(i)}, L_{в.с}^{(i)}, T_{в.с}^{(i)}$ – массогабаритные (масса, объем), энергетические и временные затраты для i -го контура аппаратных средств КСУ, $i = \overline{1, N}$;

– $M_{в.с}, W_{в.с}, L_{в.с}, T_{в.с}$ – принятые на аппаратуру КСУ ограничения по массе, объему, энергетическим затратам и времени изготовления.

Каждая из функций $M_{в.с}^{(i)}, W_{в.с}^{(i)}, L_{в.с}^{(i)}, T_{в.с}^{(i)}$ ($i = \overline{1, M}$) является известной функцией параметров:

– объема оперативной и долговременной памяти контура;

– быстродействия контура;

– совокупной пропускной способности каналов контура.

В практических приложениях (см. [3, 4]) любая из этих функций является линейной функцией типа

$$\begin{aligned} \gamma_{iR}^{он} \sum_{j=1}^N x_{ji} V_{он}^{(j)} (1 + \alpha_{он}) + \gamma_{iR}^д \sum_{j=1}^N x_{ji} V_{д}^{(j)} (1 + \alpha_{д}) + \\ + \gamma_{iR}^б \sum_{j=1}^N x_{ji} V_{б}^{(j)} (1 + \alpha_{б}) + \\ + \gamma_{iR}^{з.к} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N x_{jk} A_{jk} + \sum_{s=1}^N \sum_{j=1}^N x_{js} B_{js} \right) (1 + \alpha_{з.к}), \end{aligned} \quad (8)$$

где $\gamma_{iR}^{он}, \gamma_{iR}^д, \gamma_{iR}^б, \gamma_{iR}^{з.к}$ – известные для каждого i -го контура ($i = \overline{1, M}$) и каждой R -й функции ($R = \overline{1, 4}$) (масса, объем, расход энергии, время изготовления) значения коэффициентов.

После решения задачи (1)–(8) (т. е. нахождения переменных x_{ji} , $j = \overline{1, N}$, $i = \overline{1, M}$) определяются:

- число вычислительных контуров КСУ как число ненулевых сумм $\sum_{j=1}^N x_{ji}$;
- распределение задач по контурам, задаваемое матрицей $\{x_{ji}\}_{N, M}$;
- потребности контуров в оперативной и долговременной памяти

$$\left(\sum_{j=1}^N x_{ji} v_{оп}^{(j)} (1 + \alpha_{оп}), \sum_{j=1}^N x_{ji} v_{д}^{(j)} (1 + \alpha_{д}) \right)$$

быстродействию

$$\left(\sum_{j=1}^N x_{ji} c_{оп}^{(j)} (1 + \alpha_{с}), \right)$$

суммарной загрузке каналов

$$\left(\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N x_{jk} A_{jk} + \sum_{s=1}^M \sum_{j=1}^N x_{js} B_{js} \right) (1 + \alpha_{зк}).$$

Аналогично, с учетом (8), можно определить и конкретные ограничения массогабаритных, энергетических и временных характеристик каждого контура, а также стоимость разработки отдельных контуров [1] и КСУ в целом.

На втором этапе – выбора конкретных структур КСУ – происходит отбор из возможных структур КСУ такой, которая наилучшим образом удовлетворяет конкретным рекомендациям, полученным на первом этапе

Математическая модель оценки архитектурного обеспечения КСУ нижнего уровня – уровня выбора структуры ее контуров

На нижнем уровне архитектурного обеспечения КСУ определяются по каждому контуру:

- число и типы процессоров;
- внутрисистемные характеристики каналов связи;
- распределение алгоритмов по процессорам контура.

Долговременная память в КСУ считается определенной по модели верхнего уровня и обычно не является принадлежностью контуров

При постановке модели считаются известными:

- число рассматриваемых для применения в КСУ всевозможных процессоров R_n ;
- основные характеристики r -го типа процессора, $r = \overline{1, R_n}$: быстродействие – $c_{пр}^{(r)}$ (кор.оп/сек), объем оперативной памяти – $v_{пр}^{(r)}$ (Кбайт), стоимость – $s_{пр}^{(r)}$;
- основные характеристики i -го контура ($i = \overline{1, M}$), определенные после решения задачи верхнего уровня: суммарное быстродействие – c_i , суммарный объем оперативной памяти – v_i , задачи и данные по ним (потребные объемы оперативной памяти – $v_0^{(i)}$,

быстродействия – $c^{(i)}$ и матрица загрузки каналов при межадачных связях $\{A_{jk}^{(i)}\}_{N, N}$, реализуемые в i -м контуре, $j, k = \overline{1, N}$, $i = \overline{1, M}$;

- стоимость аппаратуры для передачи единицы информации внутри контуров $s_{пер}$.

Для каждого i -го контура ($i = \overline{1, M}$) введем в рассмотрение переменные:

$$y_{kr}^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й процессор } r\text{-го типа} \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases} \quad (9)$$

($k = \overline{1, R_n^{(i)}}$, $r = \overline{1, R_n}$; $R_n^{(i)}$ – число процессоров в i -м контуре);

$$x_{jk}^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й алгоритм реализуется} \\ & \text{в } r\text{-м процессоре} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (10)$$

Тогда справедливы соотношения:

$$\sum_{k=1}^{R_n} y_{kr}, k = \overline{1, R_n^{(i)}} \text{ – каждый процессор в контуре только одного класса;} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{R_n} x_{jk}^{(i)}, j = \overline{1, N} \text{ – каждый алгоритм реализуется одним процессором;} \quad (12)$$

$$(\alpha_{с} + 1) \sum_{r=1}^{R_n} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{R_n^{(i)}} x_{jk}^{(i)} c_j y_{kr}^{(i)} \leq c_i \text{ – ограничения по суммарному быстродействию контура, } i = \overline{1, M}; \quad (13)$$

$$(1 + \alpha_{оп}) \sum_{r=1}^{R_n} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{R_n^{(i)}} x_{jk}^{(i)} v_j y_{kr}^{(i)} \leq v_i \text{ – ограничения по суммарной памяти контура, } i = \overline{1, M}; \quad (14)$$

$$(1 + \alpha_{с}) \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{R_n^{(i)}} x_{jk}^{(i)} c_j y_{kr}^{(i)} \leq c_{пр}^r \text{ – ограничения по быстродействию } r\text{-го типа процессора, } r = \overline{1, R_n}; \quad (15)$$

$$(1 + \alpha_{оп}) \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{R_n^{(i)}} x_{jk}^{(i)} v_j y_{kr}^{(i)} \leq v_{пр}^r \text{ – ограничения по памяти } r\text{-го типа процессора, } r = \overline{1, R_n}. \quad (16)$$

Стоимость аппаратной части любого контура состоит из двух частей: стоимости процессорной части и стоимости аппаратуры передачи информации и выражается соотношением

$$S_{\Sigma}^{(i)} = \sum_{k=1}^{R_n^{(i)}} \sum_{r=1}^{R_n} y_{kr}^{(i)} s_{пр}^{(K)} + s_{пер} \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N x_{jr}^{(i)} x_{ln}^{(i)} A_{jl}. \quad (17)$$

Математическая модель нижнего уровня сводится к нахождению переменных $y_{kr}^{(i)}, x_{jk}^{(i)}$ ($k = \overline{1, R_n^{(i)}}$,

$r = \overline{1, R_n}, j = \overline{1, N}, i = \overline{1, M}$), минимизирующих (17) при условиях (9) – (16).

Число и тип используемых процессоров в каждом контуре находится соотношением $\sum_{k=1}^{R(i)} Y_{kr}^{(i)}$ – число процессоров r -го типа в i -м контуре ($r = \overline{1, R_n}, i = \overline{1, M}$).

Внутрисистемные потоки между процессорами с номерами R_1, R_2 определяется соотношением

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N x_{jR_1}^{(i)} x_{lR_2}^{(i)} A_{jl}.$$

Распределение алгоритмов по процессорам контура i задается матрицей $\{x_{jk}^{(i)}\}_{N \times R(i)}, i = \overline{1, M}$.

Выводы

1. Математическая модель оценки оптимального архитектурного обеспечения КСУ состоит из модели верхнего уровня, позволяющей произвести укрупненный выбор облика вычислительных контуров КСУ, и из модели нижнего уровня, позволяющей определить структуру каждого из контуров КСУ.

2. Модель верхнего уровня обеспечивает для КСУ определение числа вычислительных контуров, характеристик каждого контура, алгоритмического состава задач каждого контура.

3. Модель нижнего уровня обеспечивает для каждого контура определение числа и основных характеристик процессоров, внутриконтурных характеристик каналов связи, распределения алгоритмов по процессорам контура.

4. Основная математическая модель, решаемая на верхнем уровне, сводится к минимизации функции (1) при ограничениях (2)–(8).

5. Математическая модель задачи нижнего уровня сводится к минимизации функции (17) при ограничениях (9)–(16).

Литература

1. Чуев Ю. В., Мельников П. М. и др. Основы исследования операций в военной технике. – М.: Сов. радио, 1965. – 256 с.
2. Чуев Ю. В. Исследование операций в военном деле. – М.: Изд-во МО СССР, 1970. – 200 с.
3. Андреев И. И., Татарченко А. Е. Применение математических методов в военном деле. – М.: Воениздат, 1967 – 416 с.
4. Ельяшкевич Е. В., Антонов П. Б. Постановка задач оптимизации структуры сложных систем управления. – Л.: ИПК СП, 1984. – 94 с.

УДК 621 391.826; 681.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭХО-СИГНАЛОВ КОРАБЛЕЙ, НАБЛЮДАЕМЫХ ЛОКАТОРАМИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

А. П. Шепета,

доктор техн. наук, профессор

С. А. Бажин,

старший преподаватель

А. Г. Давидчук,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В работе рассматриваются имеющиеся в литературе экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей. На основе этих характеристик определяются параметры многомерного закона распределения флуктуаций амплитуд и длительностей эхо-сигналов кораблей с учетом экспериментальных корреляционно-спектральных характеристик эхо-сигналов.

The experimental characteristics of echo - signals of the ships available in the scientific literature are considered in the paper. On the basis of these characteristics, parameters of the multidimensional law of distribution of amplitudes' fluctuations and duration of ships echo - signals are defined with consideration of experimental correlation and spectral characteristics of echo - signals.

Исследование сложных нелинейных систем обработки информации при одновременном действии на их входах информационных сигналов, пассивных и активных помех возможно, фактически, только методами математического моделирования. Результаты моделирования будут соответствовать практике при условии определения параметров моделей по экспериментальным данным. В работе рассматриваются, имеющиеся в литературе экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей и производится их «привязка» к параметрам математических моделей этих сигналов.

Математическая модель эхо-сигнала корабля

Под математической моделью эхо-сигнала корабля в данной работе понимается статистическая модель – многомерная совместная плотность распределения $f(\mathbf{A}_N, \tau_N)$ параметров сигналов (амплитуд A_j и длительностей τ_j), наблюдаемых на выходе приемного устройства бортового локатора [1]

$$f_{2N}(\mathbf{A}_N, \tau_N) = \frac{1}{(2\pi)^N \sqrt{D_{2N}} \prod_{i=1}^N A_i \sigma_{A_i} \tau_i \sigma_{\tau_i}} \exp \left\{ -\frac{1}{2D_{2N}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{D_{ij}}{\sigma_{A_i} \sigma_{A_j}} \ln \frac{A_i}{\bar{A}_i} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} + \frac{D_{i, N+j}}{\sigma_{A_i} \sigma_{\tau_j}} \ln \frac{\tau_j}{\bar{\tau}_j} + \frac{D_{N+i, j}}{\sigma_{\tau_i} \sigma_{A_j}} \ln \frac{\tau_i}{\bar{\tau}_i} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} + \frac{D_{N+i, N+j}}{\sigma_{\tau_i} \sigma_{\tau_j}} \ln \frac{\tau_i}{\bar{\tau}_i} \ln \frac{\tau_j}{\bar{\tau}_j} \ln \frac{A_j}{\bar{A}_j} \right\} \quad (1)$$

где определитель D_{2N} является определителем четырехблочной матрицы D_{2N} :

$$D_{2N} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & D_N^{(A, \tau)} \\ D_N^{(\tau, A)} & D_N^{(\tau)} \end{vmatrix} \quad (2)$$

элементы блочных матриц $D_N^{(A)}$, $D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A, \tau)}$, $D_N^{(\tau, A)}$ представляют собой коэффициенты корреляции ло-

гарифмов амплитуд $r_{A_i j}$, логарифмов длительностей $r_{\tau_i j}$, логарифмов амплитуд и логарифмов длительностей $r_{A_i \tau_j}$, логарифмов длительностей и логарифмов амплитуд $r_{\tau_i A_j}$, $i, j = 1, 2, \dots, N$ соответственно, а $D_{i, M}$ – алгебраические дополнения соответствующих элементов определителя D_{2N} . Векторы $\bar{A}_N = (A_1, A_2, \dots, A_N)$, $\bar{\tau}_N = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$, $\sigma_A = (\sigma_{A_1}, \sigma_{A_2}, \dots, \sigma_{A_N})$ и $\sigma_\tau = (\sigma_{\tau_1}, \sigma_{\tau_2}, \dots, \sigma_{\tau_N})$ являются векторами логарифмов средних значений амплитуд, логарифмов средних значений длительностей, среднеквадратических отклонений логарифмов амплитуд и среднеквадратических отклонений логарифмов длительностей соответственно.

Таким образом, многомерная плотность распределения зависит от четырех векторных – $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ и четырех матричных $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A, \tau)}, D_N^{(\tau, A)}$ параметров, численные значения которых и необходимо определять по экспериментальным данным для конкретных условий наблюдения корабля. Элементы векторов $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ представляют собой энергетические параметры эхо-сигналов кораблей и определяют параметры маргинальных (одномерных) плотностей распределения амплитуд и длительностей, а элементы матриц $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A, \tau)}, D_N^{(\tau, A)}$ зависят от корреляционно-спектральных характеристик отраженных от кораблей сигналов и определяют параметры двумерных плотностей распределения амплитуд, длительностей, амплитуд и длительностей, длительностей и амплитуд.

Основные эмпирические зависимости между параметрами маргинальных законов распределения эхо-сигналов кораблей

В литературе по экспериментальным исследованиям характеристик кораблей приводятся сведения о среднем значении эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) кораблей \bar{S} , коэффициентах вариации амплитуд K_A и среднем значении длительности импульсов $\bar{\tau}$. Обобщим эти сведения и представим их в форме, удобной для практического определения параметров маргинальных плотностей распределения, т. е. определим через известные эмпирические зависимости вектор $(\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau)$. При этом вектор $(A_N, \sigma_A, \tau_N, \sigma_\tau)$ необходимо связать с типом корабля и условиями его наблюдения: состоянием морской поверхности, параметрами тракта распространения сигналов и параметрами бортового комплекса

Элементы вектора $(\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau)$ связаны с $\bar{P}_i, K_{A_i}, \bar{\tau}_i, K_{\tau_i}$, где \bar{P}_i – средняя мощность принимаемого сигнала, соотношениями [2, 3]:

$$\begin{cases} \bar{A}_i = \bar{A}_i / \sqrt{1 + K_{A_i}^2} = \sqrt{2\bar{P}_i} / (1 + K_{A_i}^2); \\ \sigma_{A_i}^2 = \ln(1 + K_{A_i}^2); \\ \bar{\tau}_i = \bar{\tau}_i / \sqrt{1 + K_{\tau_i}^2}; \\ \sigma_{\tau_i}^2 = \ln(1 + K_{\tau_i}^2). \end{cases} \quad (3)$$

Теперь необходимо определить эмпирические выражения для $\bar{P}_i, K_{A_i}, \bar{\tau}_i, K_{\tau_i}$. Ниже опущены несущественные для данного рассмотрения индексы i и j . Средняя мощность принимаемого сигнала \bar{P} связана с ЭПР объекта \bar{S} известной зависимостью

$$\bar{P} = \frac{G^2 \lambda^2 \bar{S}}{(4\pi)^3 L^4} 10^{0,1\eta}, \quad (4)$$

где G^2 – коэффициент усиления приемно-передающей антенны (при приеме и передаче на одну антенну); λ – длина волны несущей; L – расстояние до корабля; η – коэффициент потерь, дБ.

Параметры G, λ, L и η относятся к условиям наблюдения, а \bar{S} характеризует сам объект. При проведении теоретических расчетов и математического моделирования вместо значения \bar{P} , рассчитанного по формуле (4), удобнее использовать значение \bar{P} , выраженное в единицах мощности собственного шума приемного устройства. Если принять мощность собственных шумов за единицу, то во всех выражениях можно вместо \bar{P} использовать отношение сигнал/шум $\bar{\rho}$.

Результаты экспериментальных исследований ЭПР крупных надводных объектов изложены в работах многих известных авторов – В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова, О. К. Озерянского. Наиболее приемлемой представляется следующая эмпирическая зависимость ЭПР от типа корабля и условий его наблюдения:

$$\bar{S} = \exp\left\{\left(C_1 - \frac{C_2}{W} \sin |180| - C_3 W + C_4 \sin |\phi|\right) \ln 10\right\}, \quad (5)$$

где θ и ϕ – угол места и ракурс корабля, соответственно (в градусах); W – волнение моря (в баллах), $C = (C_1, C_2, C_3, C_4)$ – вектор, характеризующий сам корабль; для некоторых типов кораблей значения вектора приведены в табл. 1. При ограничениях ($0 \leq \theta \leq 15^\circ, 0 \leq \phi \leq 180^\circ, 1 \text{ балл} \leq W \leq 6 \text{ баллов}$) формула (5) достаточно точно (для отечественных кораблей

■ Таблица 1

Тип корабля	C_1	C_2	C_3	C_4
Крейсер	4,0	0,3	0,10	0,3
Эсминец	3,2	0,3	0,13	0,3
Авианосец типа «Фаррестол»	4,8	0,4	0,07	0,5
Авианосец типа «Шангра-Ли»	4,3	0,3	-	0,4
Авианосец типа «Гермес»	4,0	0,3	-	0,4

погрешность не превышает 1 дБ) описывает зависимость ЭПР кораблей в сантиметровом диапазоне радиоволн, в котором зависимость ЭПР кораблей от поляризации отсутствует.

В выражении (5) не рассматривается зависимость ЭПР от частоты излучения или длины волны λ , но эта зависимость исследована экспериментально в работах Л. Н. Гриненко и В. Д. Плахотникова для $0,4 \text{ см} \leq \lambda \leq 3,2 \text{ см}$. Показано, что значение \tilde{S}_i , измеренное для λ_i , и \tilde{S}_0 , измеренное для λ_0 , связаны соотношением

$$\tilde{S}_i = \frac{q_i}{q_0} \tilde{S}_0, \quad (6)$$

где q_i и q_0 – коэффициенты, зависящие от λ_i и λ_0 по выражению (λ_i – в сантиметрах, аргумент косинуса – в радианах)

$$q_i = 12,4\lambda_i^{-0,36} \left[1 - 0,56\lambda_i^{-0,64} \cos(0,15\lambda_i + 0,48) \right] - 1,63. \quad (7)$$

Расчет по этому выражению показывает, что для $1,0 \text{ см} \leq \lambda_i \leq 3,2 \text{ см}$ относительное изменение средней ЭПР кораблей при перестройке частоты не превышает 8 %. Изменение ЭПР кораблей при перестройке частоты от импульса к импульсу для указанного диапазона можно не учитывать и, считая, что ЭПР не зависит от λ_i , пользоваться для расчета выражением (4). Приведенные выражения позволяют определить параметр \bar{d} .

Экспериментальные зависимости для K_A приведены в работах многих авторов (Ю. М. Стрыгина, О. К. Озерянского и др.), где констатируется, что значение коэффициента вариации зависит в основном от типа корабля, волнения моря и достаточно сильно – от ракурса ϕ . Эмпирическая зависимость K_A от ϕ в явном виде может быть определена как

$$K_A = \bar{K}_A + \Delta K_A \sin|\phi| = \frac{K_{Amax} + K_{Amin}}{2} + \frac{K_{Amax} - K_{Amin}}{2} \sin|\phi|, \quad (8)$$

■ Таблица 2

Тип корабля	K_{Amax}	K_{Amin}
Крейсер	0,580	0,391
Эсминец	0,425	0,188
Тральщик	0,442	0,20
Катер	0,680	0,099
Подводная лодка в надводном положении	0,650	0,303
Уголки на плавучестях	0,360	0,188
Надувные уголки	0,721	0,312
Облака дипольных отражателей	0,560	0,480

где \bar{K}_A и ΔK_A – среднее значение и вариация коэффициента K_A , численные значения K_{Amax} и K_{Amin} соответственно.

Значения коэффициентов вариации для некоторых типов надводных объектов приведены в табл.2.

Экспериментальные данные по статистическим характеристикам длительностей сигналов кораблей приведены в работах И. Е. Кузнецова, М. Н. Курепкина, Б. И. Костина, Ю. М. Стрыгина, О. К. Озерянского и др. В них предлагается для аппроксимации огибающей, отраженного импульса использовать гауссову кривую, которую мы и примем при описании математической модели корабля. Для аппроксимации средней длительности τ при $0,8 \text{ см} \leq \lambda \leq 3,2 \text{ см}$ предложено выражение

$$\tau = \left[\tau_0 + \frac{16 \ln 2}{9c^2} (l_d |\cos \phi| + l_w |\sin \phi|)^2 \cos^2 \theta \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где c – скорость света; l_d, l_w – геометрические размеры корабля, равные его длине и ширине соответственно; θ – угол визирования в вертикальной плоскости.

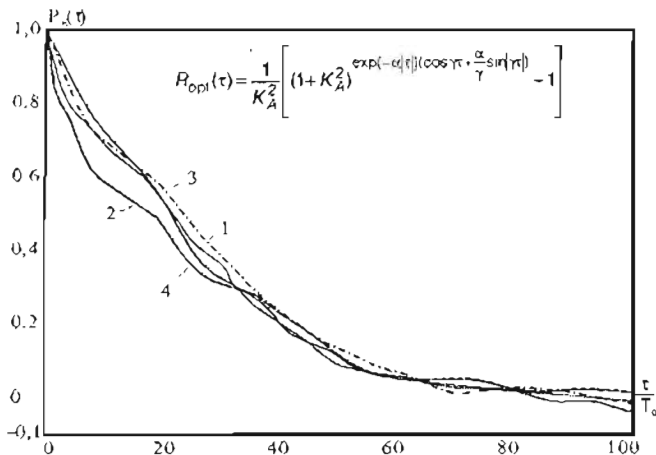
Коэффициенты вариации длительностей K_τ имеют практически ту же зависимость от условий наблюдения, что и коэффициенты вариации амплитуд. Поэтому, если значения K_τ не заданы, то можно считать $K_\tau = K_A$, тем более, что это равенство существенно упрощает многомерную модель.

Экспериментальные функции корреляции амплитуд и длительностей информационных сигналов

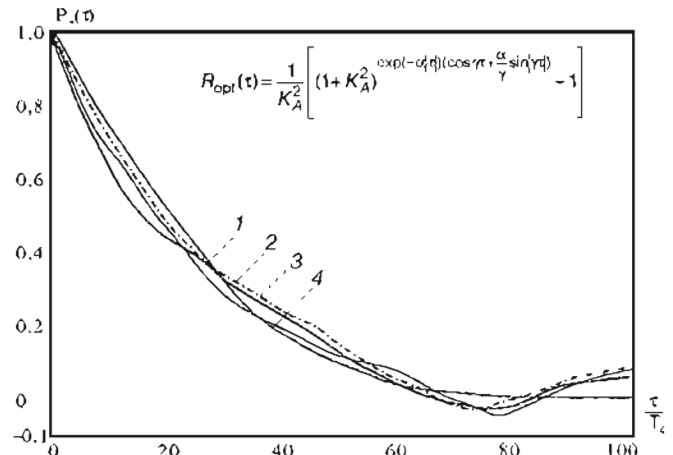
В работах [1, 2] показано, что для информационного сигнала можно положить $D_N^{(A)} = D_N^{(A)T}$, $D_N^{(\tau)} = D_N^{(\tau)T}$, где $(\cdot)^T$ – знак транспонирования. Экспериментальные данные по корреляционным функциям эхо-сигналов крупных морских объектов, приведенные в работах В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова, позволяют положить $R_A(\tau) = R_\tau(\tau) = R_{A,\tau}(\tau) / R_{A,\tau}(\tau=0)$ (рис. 1, 2). Из двух последних матричных равенств и экспериментальных исследований следует, что матрицы $D_N^{(A)}$, $D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A,\tau)}$, $D_N^{(\tau,A)}$ являются симметричными теплоцевыми матрицами. Если при этом равенство корреляционных функций перенести на матрицы $D_N^{(A)} = D_N^{(\tau)}$, $D_N^{(A,\tau)} = D_N^{(\tau,A)} = R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)}$, что верно с точностью до погрешности эксперимента, то получим

$$D_{2N} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & D_N^{(A,\tau)} \\ D_N^{(\tau,A)} & D_N^{(\tau)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_N^{(A)} & R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)} \\ R_{A,\tau}(\tau=0) D_N^{(A)} & D_N^{(A)} \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Следует особо подчеркнуть, что равенство (10) распространяется лишь на нормированные корреляционные характеристики сигналов, не влияя при этом на векторы средних и дисперсий. Это позволяет использовать данную модель не только для описания конечных выборок, но и, при предельном



■ Рис. 1. Корреляционные функции $R_{A_1}(0) = 0,6$; $\alpha = 54\text{c}^{-1}$; $\gamma = 27\text{c}^{-1}$; $K_A = 0,66$:
1 – $R_A(\tau)$; 2 – $R_r(\tau)$; 3 – $R_{A_r}(\tau)/R_{A_r}(0)$; 4 – $R_{opt}(\tau)$



■ Рис. 2. Корреляционные функции $R_{A_1}(0) = 0,6$; $\alpha = 62\text{c}^{-1}$; $\gamma = 26\text{c}^{-1}$; $K_A = 0,84$:
1 – $R_A(\tau)$; 2 – $R_r(\tau)$; 3 – $R_{A_r}(\tau)/R_{A_r}(0)$; 4 – $R_{opt}(\tau)$

переходе, для описания нестационарного процесса флуктуаций параметров информационных сигналов при приближении летательного аппарата к кораблю [4–6].

Многомерная плотность распределения зависит от четырех векторных $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N, \sigma_\tau$ и четырех матричных $D_N^{(A)}, D_N^{(\tau)}, D_N^{(A,\tau)}, D_N^{(\tau,A)}$ параметров. В силу симметричности теплицевых матриц каждая из них определяется N -мерным вектором. Из равенства (10) следует, что для определения матричных параметров достаточно задать вектор с элементами, определяемыми по $R_A(\tau)$ и скаляр $R_{A,\tau}(\tau=0)$. Экспериментально установленное равенство $R_A(\tau) = R_\tau(\tau)$ для логарифмически-нормальной модели приводит к равенству коэффициентов вариации $K_A = K_\tau$. Таким образом, для определения параметров математической модели по экспериментальным данным достаточно задать элементы векторов $\bar{A}_N, \sigma_A, \bar{\tau}_N$, скаляр $R_{A,\tau}(\tau=0)$ и корреляционную функцию $R_A(\tau)$, точнее $N-1$ ее отсчетов, так как первый отсчет в силу нормировки равен единице $R_A(0) = 1$.

Экспериментальные $R_A(\tau)$ приведены во многих работах, в частности, кривые, приведенные на рис 1–2, взяты из работ В. В. Барскова, А. Ф. Пашевского, А. В. Смирнова. Для аппроксимации $R_A(\tau)$ в работе [3] предлагается экспоненциально-косинусная кривая

$$R_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \cos(\gamma\tau). \quad (11)$$

где μ, γ – параметры кривой, по физическому смыслу определяющие скорость затухания и моду энергетического спектра сигнала соответственно.

Однако корреляционная функция вида (11) удобна лишь для аппроксимации корреляционных функций нормальных процессов, так как она соответствует нормальному марковскому процессу второго порядка. Что же касается амплитуд – неотрицательно определенных случайных величин, то простота аналитической записи $R_A(\tau)$ в виде (11) в этом случае кажущаяся, так как точно воспроизвести характери-

стики процесса флуктуаций амплитуд (даже в простейшем случае для распределения Рэлея) с такой $R_A(\tau)$ на ЦВМ невозможно [7].

В работе [8] показано, что в качестве $R_A(\tau)$ целесообразно выбрать кривую вида

$$R_A(\tau) = \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(r_A(\tau) \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right], \quad (12)$$

где

$$r_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \cos(\gamma\tau), \quad (13)$$

т. е. экспоненциально-косинусной кривой нужно аппроксимировать не корреляционную функцию $R_A(\tau)$, а корреляционную функцию логарифмов амплитуд $r_A(\tau)$. При этом для реальных значений коэффициентов вариации K_A с высокой точностью выполняется равенство $R_A(\tau) = r_A(\tau)$, т. е. аппроксимация вида (12), так же как и кривая вида (10), хорошо согласуется с экспериментальными данными. В случае аппроксимации вида (12) последовательность амплитуд будет представлять собой дискретный логарифмически-нормальный марковский процесс второго порядка. Если экспоненциально-косинусную кривую $r_A(\tau)$ в выражении (13) заменить на кривую вида [2, 4, 9]

$$r_A(\tau) = \exp(-\mu|\tau|) \left[\cos(\gamma\tau) + \frac{\mu}{\gamma} \sin|\gamma\tau| \right], \quad (14)$$

то логарифмически-нормальный процесс будет дифференцируемым.

Для некоторых типов кораблей при определенных условиях их наблюдения колебательный характер $R_A(\tau)$ выражен слабо. В этом случае функцию $r_A(\tau)$ удобно считать экспоненциальной. Тогда

$$\begin{aligned} R_A(\tau) &= \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(r_A(\tau) \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right] = \\ &= \frac{1}{K_A^2} \left[\exp(e^{-\mu|\tau|} \ln(1 + K_A^2)) - 1 \right], \end{aligned} \quad (15)$$

а последовательность амплитуд будет простой цепью Маркова.

В работах О. К. Озерянского приведена эмпирическая формула для интервала корреляции $\tau_{0,5}^{(A)}$, определенного по ширине $R_A(\tau)$ на уровне 0,5, которой можно пользоваться для дальней зоны при $W \geq 3$ бал. Зависимость $\tau_{0,5}^{(A)}$ как функция C – параметра, определяющего тип корабля и имеющего размерность секунда, ракурса ϕ и волнения моря W (в баллах), выражается формулой

$$\tau_{0,5}^{(A)} = \frac{0,3C}{W} [1 + 0,75 \cos(2\phi)] \quad (16)$$

Для крупных кораблей можно считать $C = 1$ с. Отсюда значение μ , которое и определяет в основном $\tau_{0,5}^{(A)}$, равно

$$\mu = \frac{1}{\tau_{0,5}^{(A)}} \ln \frac{\ln(1 + K_A^2)}{\ln(1 + 0,5K_A^2)} = \frac{\ln 2}{\tau_{0,5}^{(A)}} \quad (17)$$

Для кривой вида (15) это равенство точное, а для двух других аппроксимаций – приближенное, но его точность вполне достаточна для использования в практических расчетах. Параметр γ можно определить только по экспериментальной $R_A(\tau)$ (см. рис. 1, 2).

В общем случае значения $R_A(\tau)$, известные для корабля при одних условиях наблюдения, определяемых параметрами ϕ и W , не могут быть пересчитаны в параметры $R_A(\tau)$ для других условий, определяемых ϕ и W . Однако приближенная такая оценка (для одного и того же корабля и одного и того же бортового комплекса) все же может быть получена [2].

Пусть известна $R_A^{(a)}(\tau)$ для ϕ и W (в дальней зоне $\theta = 0^\circ$), т. е. известны $\tau_{0,5}^{(A)}$, μ , γ и K_A . Тогда для других условий ϕ' и W' (в дальней зоне) из выражений (14) и (15) следует

$$\tau_{0,5}^{(A')} = \tau_{0,5}^{(A)} \frac{W [1 + 0,75 \cos(2\phi')]}{W [1 + 0,75 \cos(2\phi)]} \quad (18)$$

Полагая $\gamma' = \gamma \tau_{0,5}^{(A)} / \tau_{0,5}^{(A')}$, для μ' получим

$$\mu' = \frac{1}{\tau_{0,5}^{(A')}} \ln \frac{\ln(1 + K_A'^2)}{\ln(1 + 0,5K_A'^2)} \left[\cos(\gamma \tau_{0,5}^{(A)}) + \frac{\mu}{\gamma} \sin(\gamma \tau_{0,5}^{(A)}) \right] \quad (19)$$

где значение K_A' определяется по выражению (8).

Влияние перестройки частоты несущей на $R_A(\tau)$ изучалось в работах Л. Н. Гриненко и В. Д. Плахотникова. Авторами было получено выражение

$$R_A(\tau, \nu) = R_A(\tau) \psi(\nu), \quad (20)$$

где $R_A(\tau)$ – функция корреляции амплитуд сигналов корабля без перестройки частоты [$R_A(\tau)$ не зависит от частоты излучения]; $R_A(\tau, \nu)$ – функция корреляции амплитуд при линейной перестройке частоты несущей со скоростью ν ; $\psi(\nu)$ – функция вида $(\sin x/x)^2$.

Зависимость (20) носит приближенный характер и лишь подтверждает тот экспериментальный факт, что с увеличением скорости перестройки частоты происходит декорреляция эхо-сигналов. Поэтому учитывать перестройку частоты следует лишь путем эквивалентного уменьшения $\tau_{0,5}^{(A)}$ при сохранении функционального вида $R_A(\tau)$. Для корабля значение $\tau_{0,5}^{(A)}$ с учетом перестройки частоты со скоростью ν определяется из трансцендентного уравнения

$$R_A(\tau_{0,5}^{(A)}) = \left[\frac{\sin(2\pi \nu h \sin \theta \tau_{0,5}^{(A)} / c)}{(2\pi \nu h \sin \theta \tau_{0,5}^{(A)} / c)} \right]^2 = \frac{1}{2}, \quad (21)$$

где h – высота корабля, м (для крейсера 15 м, для эсминца – 12 м), θ – угол визирования корабля в вертикальной плоскости, рад; $\tau_{0,5}^{(A)}$, мс.; c – скорость света.

Теперь все параметры корреляционных функций определены. Спектр флюктуаций амплитуд легко можно найти путем разложения $R_A(\tau)$ в ряд по степеням τ с последующим двусторонним преобразованием Фурье

Выводы

Экспериментальные характеристики связывают основные параметры математических моделей эхо-сигналов кораблей для маргинальных законов распределения, а также показывают эмпирические зависимости параметров корреляционных и взаимных корреляционных функций амплитуд и длительностей сигналов.

Приведенные характеристики были получены при определенных условиях наблюдения кораблей, что позволяет использовать их непосредственно при моделировании именно этих ситуаций наблюдения сигналов. При этом в эмпирических зависимостях учтены условия наблюдения эхо-сигналов, которые в процессе моделирования можно изменять.

Для условий эксперимента, отличного от условий, при которых были получены приведенные эмпирические зависимости, предложена методика приближенного пересчета характеристик эхо-сигналов, что позволяет использовать приведенные зависимости и для других условий эксперимента. Это, в свою очередь, дает возможность исследователям и проектировщикам бортовой аппаратуры проводить математическое моделирование работы проектируемых устройств в условиях функционирования, максимально приближенных к реальным условиям.

Математическое моделирование с использованием приведенных зависимостей фактически является машинным экспериментом, практически адекватным реальному эксперименту, проведенному по реальным объектам, наблюдаемым на фоне моря, что повышает достоверность полученных характеристик качества проектируемых систем обработки информации.

Литература

1. **О вероятности выбора главной цели** / И. С. Локтюков, А. А. Оводенко, А. П. Шепета и др. // Межвуз. сб. – Л.: ЛЭТИ, 1977. Вып. 118. – С.122–125.
2. **Оводенко А. А., Култышев Е. И., Шепета А. П.** Бортовая радиоэлектронная аппаратура. – М.: Изд-во МПИ, 1989. – 335 с.
3. **Тверской Г. Н., Терентьев Г. К., Харченко И. П.** Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. – Л.: Судостроение, 1973. – 228 с.
4. **Левин Б. Р., Шварц В.** Вероятностные модели и методы в системах связи и управления. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.
5. **Обнаружение радиосигналов** / П. С. Акимов, Ф. Ф. Евстратов, И. С. Захаров и др.; Под ред. А. А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
6. **Управление движущимися объектами** / А. А. Елисеев, А. А. Оводенко, А. П. Шепета и др.; Под ред. А. А. Елисеева и А. А. Оводенко. – М.: Изд-во МГАП «Мир книги», 1994. – 425 с.
7. **Шелухин О. И., Беляков И. В.** Негауссовские процессы. – СПб.: Политехника, 1992. – 312 с.
8. **Шепета А. П.** Синтез нелинейных формирующих фильтров для моделирования входных сигналов локационных систем // Тр. международной научно-технич. конф. (доклады), май 1994. – Киев: АН Украины; НПО Квант. – Вып. 1. – С. 81–85.
9. **Селекция и распознавание на основе локационной информации** / А. Л. Горелик, Ю. Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Элштейн; Под ред. А. Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья редактируется и рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи, а также фотографию и краткое изложение сведений о себе.

Процедуры согласования текста статьи, предоставления фото (размером 4x5,5 см) и сведений об авторе могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (электронный вариант фото в виде файла *.tif, *.jpg с разрешением 300 dpi).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию. При необходимости доработать статью — рецензию.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за подбор, достоверность и точность фактов, экономико-статистических и технических показателей, собственных имен и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы публикуемых в журнале материалов и рекламодатели.

УДК 621.398

ВЫБОР КРИТИЧЕСКИХ РЕАЛИЗАЦИЙ И ЕГО СОЧЕТАНИЕ С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ УСКОРЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Ю. Ф. Подоплекин,

доктор техн. наук, зам. генерального директора, директор по науке

В. Р. Андриевский,

канд. техн. наук, профессор

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ "Гранит"»

Рассматривается возможность применения метода отбора критических реализаций случайных факторов для решения общей задачи оценки вероятностных показателей качества исследуемой системы. Показывается возможность использовать выбор критических реализаций в сочетании с другими методами сокращения трудоемкости статистического эксперимента: «выделения главной части» и «расслоенной выборки».

The possibility of application of the method of sampling of random factors critical realizations for the solution of the general problem of estimation of probability rates of the investigated system quality is examined. Availability of sampling of critical realizations combined with other methods of labor saving of a statistical experiment such as «leading part separation» and «stratified sample» is discussed.

Метод выбора критических реализаций случайных факторов с исключением области очевидных («неинтересных») исходов при статистическом моделировании был предложен в 1960-х годах сотрудником ЦНИИ «Гранит» Н. П. Яковлевым как средство существенного сокращения трудоемкости оценки вероятности неблагоприятного функционирования системы. Эффективность метода была показана на примере исследования динамики управления крылатой ракетой на участке старта. Идея метода была описана в публикациях 1973–1975 гг. [1, 2]. Метод впоследствии переоткрывался другими исследователями. (Известна ошибочная ссылка в книге [3] на работу В. В. Кузьмина и В. А. Ярошевского в «Ученых записках ЦАГИ», 1984, т. 15, № 2, как на приоритетную в этом вопросе.)

Идея метода заключается в установлении эквивалентности между двумя схемами статистического эксперимента: «обычной», когда по полной программе исследуются все получившиеся в результате «игры со случайным» реализации случайных факторов, и «критической», когда отсеиваются «лишние», не определяющие возможности интересующего исследователя исхода (как правило, неблагоприятного).

Реализация идеи может быть различной. Например, генерация случайных условий эксперимента и

подсчет числа реализаций ведутся обычным образом, а проверка исхода – только в критической области условий.

С учетом того что проверяемая методом статистических испытаний обычно уже довольно отработанная в ходе рабочего проектирования система, поведение которой может вызывать сомнения только при значительном, скажем, не менее чем на две трети допустимого, отклонении и, по крайней мере, двух определяющих факторов одновременно, сокращение числа фактических проверок при сохранении заданной достоверности оценок получается существенным – в десятки раз. В отношении эффективности метод выбора критических реализаций достоин того, чтобы возглавить список известных методов сокращения трудоемкости статистического эксперимента. Прежде всего это относится к математическому и полунатурному моделированию (с ростом размерности пространства контролируемых в эксперименте «случайных» факторов эффективность метода увеличивается).

В пределе идея метода реализуется в единичных проверках по принципу «два ваших – два наших» (варируются по два наиболее определяющих параметра объекта и системы управления). По оценке Н. П. Яковлева, такая проверка получается с запа-

сом и соответствует отходу более чем на четыре среднеквадратических отклонения от номинального поведения системы (при вариации на уровне «2σ» вероятность случайного попадания в критическую область имеет порядок $1/2,56 \cdot 10^6$).

В оригинальной версии метод выбора критических реализаций не претендует на решение задач в общей постановке – оценке математического ожидания некоторой функции или функционала качества системы. Сохранение трудоемкости решения задач такого общего вида сегодня обеспечивается другими известными методами.

Предмет нашего рассмотрения – сочетание идей методов «выделения главной части» и «расслоенной выборки» с принципом выбора критических реализаций для решения задачи в общей постановке.

О возможности сочетания метода выбора критических реализаций с другими методами

Наиболее известны метод выделения главной части и его варианты (корреляционная выборка, комбинированные методы определения вероятностных характеристик) [4, 5, 6]. Основная идея методов этой группы – использование упрощенной (в идеале – аналитической) модели системы, учитывающей влияние основных случайных факторов на ее поведение. Это позволяет свести обработку результатов статистического эксперимента с более точной моделью или с самой системой к оцениванию поправок к вероятностным характеристикам системы, определенным на упрощенной модели. Оценка математического ожидания вектора показателей качества, полученная на упрощенной модели, $m_{y,m} = M[Y_m]$, уточняется по выборке $\{Y\}$ реализаций более точной модели или натурального эксперимента с формированием выборки разностей между показателями качества системы и ее упрощенной модели $\Delta Y = Y - Y_m$.

Далее, $\hat{m}_y = m_{y,m} + M[\Delta Y]$ и используется то, что дисперсии разностей ΔY существенно меньше дисперсий самих показателей качества (наиболее существенное для исследователя в поведении системы, модель, даже упрощенная, должна предсказывать, иначе это – не модель).

Поскольку $D[\Delta Y] \ll D[Y]$, постольку и $D[m_y]$, приближенно равная $\frac{1}{n} D[\Delta Y]$, где n – объем выборки, получается много меньше, чем при прямой оценке m_y по выборке $\{Y\}$. Потребный объем выборки, оцениваемый по заданной относительной погрешности результата, уменьшается во столько раз, во сколько раз $D[\Delta Y]$ меньше $D[Y]$. Как именно выбираются сочетания случайных факторов в каждой реализации, при этом имеет второстепенное значение. Главное – чтобы они совпадали для полной (системы) и упрощенной модели и чтобы адекватность упрощенной модели обеспечивала значение коэффициента корреляции между Y и Y_m более 0,5.

Введение в методы выделения главной части отбора критических реализаций становится возможным при естественном, как представляется, уточнении требований к адекватности упрощенной модели. Если в области, близкой к номинальным характеристикам системы, возможные отклонения ΔY существенно меньше, чем на краях поля допусков, они не повлияют на результат и соответствующие реализации можно просто не проверять, приближенно полагая для них $\Delta Y = 0$.

Чтобы избежать необходимости доказательства малости возможного смещения оценки \hat{m}_y , понятие области критических реализаций также может быть уточнено. К ней целесообразно отнести все, что остается после исключения прилегающей к номинальным характеристикам области адекватности упрощенной модели (уточнение – только на периферии генеральной совокупности). Поскольку основная вероятностная масса обычно сосредоточена именно в центральной области, вокруг точки номинальных характеристик, характерный для выбора критических реализаций эффект существенного сокращения трудоемкости исследования обеспечивается.

Использование приближенной модели является существенным элементом и другой эффективной методики – так называемой «расслоенной выборки» (в работе [7] наряду с изложением основ приведена подробная библиография). Если обозначить X – случайный вектор параметров системы с функцией плотности вероятности $w(x)$ и $Y = f(X)$ – показатель качества системы, рассматриваемая задача сводится к оценке интеграла

$$J = \int_{\Omega} f(x)w(x)dx$$

В методе расслоенной выборки множество возможных значений случайного вектора X разбивается на L непересекающихся «слоев» $\Omega_1, \dots, \Omega_L$, и из каждого слоя Ω_h берется простая случайная выборка объемом n_h . В качестве оценки вероятностной характеристики системы используется взвешенная сумма послыжных оценок

$$\hat{J} = \sum_{h=1}^L \omega_h \hat{J}_h$$

где

$$\hat{J}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} y_i, \quad y_i = f(x_i)$$

при выборе $x_i \in \Omega_h$,

$$\omega_h = \int_{\Omega_h} w(x)dx.$$

Так как слои не пересекаются, то

$$D[\hat{J}] = \sum_{h=1}^L w_h^2 D[\hat{J}_h] = \sum_{h=1}^L \frac{w_h^2}{n_h} D_h.$$

Здесь $D_h = D[f(X)]$ при выборе $X \in W_h$.

При соответствующем выборе разбиения на слои и чисел n_1, n_2, \dots, n_L дисперсия $D[\hat{J}]$ существенно меньше, чем при простой случайной выборке и том же общем числе испытаний, и тем меньше, чем меньше значение D_h , т. е. чем более однородна выборка в каждом слое. Наибольший эффект дает первое разбиение множества Ω на два-три слоя. При дальнейшем дроблении без пересмотра ранее установленных границ дисперсия только убывает, хотя и с все меньшей скоростью.

Наиболее распространенными являются два метода разбиения выборки по слоям:

- 1) пропорциональная (типическая) выборка $n_h = w_h \cdot n$ (n – общий объем выборки);
- 2) оптимальная выборка

$$n_h = \frac{\omega_h \sqrt{D_h}}{\sum_{h=1}^L (\omega_h \sqrt{D_h})}.$$

Самой сложной задачей при планировании рас-слоенной выборки является определение границ слоев. Именно ее решение требует привлечения приближенной (упрощенной или использующей прошлый опыт) модели. Введем следующие обозначения:

- y' – исход упрощенной модели ($y' = f_m(x)$);
- $w_m(y')$ – функция плотности вероятности исходов упрощенной модели в пространстве исходов Ω_h ;
- (y'_{h-1}, y'_h) – границы слоев, $h = 1, \dots, L$;
- D_{mh} – дисперсия исходов упрощенной модели в слое Ω_h ;

Тогда некоторые из рекомендуемых в работе [7] правил разбиения на слои имеют вид:

а)
$$\int_{y'_{h-1}}^{y'_h} \sqrt{w_m(y')} dy' = \frac{1}{L} \int_{\Omega_y} \sqrt{w_m(y')} dy';$$

б) $w_h \sqrt{D_{mh}} \cong \text{const}$

(в оптимальной выборке обеспечивается $n_h \gg \text{const}$);

в) $\omega_h (y'_h - y'_{h-1}) \cong \text{const}$.

Веса слоев также рекомендуется оценивать с помощью приближенных моделей.

Таким образом, необходимость использования приближенных моделей определяется как потребностями предшествующего этапа работы над системой, так и «собственными нуждами» методов исследования на заключительном этапе, и в методах «расслоенной выборки» – в не меньшей степени, чем в методах «выделения главной части»

Если приближенная модель обеспечивает хотя бы в одном слое Ω_h получение достаточно точной оценки \hat{J}_h (на периферии распределения и в номинале требования к точности приближенной модели естественно различаются), то в этом слое исследований с использованием точной модели или натурной системы можно просто не проводить без риска искажения общей оценки вероятностных характеристик системы.

Итак, в сочетании с известными методами уменьшения дисперсии результатов статистического эксперимента правомерно использовать метод выбора критических реализаций для еще более существенного сокращения трудоемкости исследований, в том числе при самой общей постановке задачи.

Литература

1. Яковлев Н. П., Богданов В. С., Куликов Ю. П. Способ уменьшения трудоемкости метода статистических испытаний при исследовании нелинейных систем автоматического управления // Морское приборостроение. Сер. VI. – вып. 1. – 1973. – С. 126–132.
2. Богданов В. С., Яковлев Н. П. Об одном приближенном методе вычисления вероятностей при исследовании нелинейных систем // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика. – № 5. – 1975. – С. 97–101.
3. Малышев В. В. и др. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
4. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Курс статистического моделирования: Учебное пособие. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1987. – 136 с.
6. Пугачев В. Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. – М.: Советское радио, 1973. – 168 с.
7. Васильев Д. В., Сабинин О. Ю. Ускоренное статистическое моделирование систем управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.

УДК 623 4.084

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

П. Б. Антонов,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Г. А. Коржавин,

канд. техн. наук, генеральный директор

И. В. Симановский,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Рассматриваются основные проблемы, связанные с моделированием при выборе архитектурного построения корабельных систем управления (КСУ).

Basic problems connected with simulation on selection of the architectural construction of shipborne control systems (SCS) are examined.

Математический аппарат, используемый при моделировании архитектурного построения корабельных систем управления

Математический аппарат, используемый при решении оптимизационных задач, поставленных в работах [1, 2], зависит от класса задачи математического программирования, определяемого видом целевой функции и ограничений [3].

Модель верхнего уровня в силу линейности целевой функции и функций-ограничений является линейной задачей целочисленного программирования [3, 4]. Модель нижнего уровня является нелинейной задачей целочисленного программирования [1, 2].

Для решения задач линейного целочисленного программирования (ЗЛЦП) используются всевозможные методы отсечений, позволяющие решить ее точно [3, 4].

При решении нелинейных задач целочисленного программирования в большинстве случаев используется какой-либо из методов направленного перебора, позволяющий найти лишь близкие к оптимальным решения [5, 6].

Для решения модели верхнего уровня при моделировании использовался специализированный пакет, позволяющий проводить оптимизацию с помощью первого алгоритма Гомори. Решение модели нижнего уровня проводилось с помощью пакета, позволяющего находить решение методом направленного перебора, использующего идеи метода ветвей и границ [3, 6].

Моделирование архитектурного построения КСУ на уровне модели верхнего уровня

При моделировании архитектурного построения перспективных КСУ на верхнем уровне используются следующие исходные данные:

- данные по алгоритмическим потребностям в КСУ (см. [1]);
- модернизационный запас по каждому из параметров (принимался равным 30–50 %);
- значения коэффициентов стоимости единиц ресурсов, а также ограничения по массогабаритным, энергетическим и временным затратам (в диапазонах их изменения) для современных и перспективных КСУ [7].

Моделирование архитектурного построения КСУ на верхнем уровне позволяет определить оптимальное число контуров в центральной части КСУ и число контуров, обслуживаемых одной периферийной ЭВМ; основные параметры контуров, а также состав задач, решаемых контурами.

Основные результаты моделирования сводятся к получению:

- числа контуров управления и их характеристик по потребному быстродействию;
- числа процессоров и их характеристик по центральной части КСУ;
- суммарных характеристик по долговременной и оперативной памяти контуров, а также рекомендаций по характеристикам процессоров в центральном контуре.

Моделирование архитектурного построения КСУ на уровне модели нижнего уровня

При моделировании архитектурного построения КСУ на нижнем уровне используются следующие исходные данные [7, 8]:

- характеристики перспективных процессоров;
- основные данные по контурам, полученные на этапе моделирования верхнего уровня (см. выше);
- стоимость процессоров и передачи единицы информации в соответствии с современными и перспективными данными;
- загрузка процессоров (по быстродействию и оперативной памяти) не более чем на 65–70%.

На первом этапе моделирования выделяется несколько (до 5–7) перспективных структур КСУ [7, 8], отличающихся структурой и составом процессоров.

На втором этапе моделирования в качестве основных наиболее перспективных вариантов построения КСУ отбираются один-два варианта, наиболее подходящих для перспективных разработок, отличающихся реализацией конкретного набора задач в каждом процессоре центрального и периферийного контуров.

Выводы

1. Математический аппарат, необходимый для решения задач моделирования архитектурного обеспечения КСУ, является аппаратом решения задач математического программирования (линейного и нелинейного целочисленного программирования), для реализации которых имеются специальные программные пакеты.

2. Моделирование архитектурного построения КСУ на верхнем уровне позволило дать следующие рекомендации по составу КСУ:

- состав центральной части КСУ;
- состав каждого периферийного процессора;
- объем оперативной памяти каждого процессора.

3. Моделирование архитектурного обеспечения КСУ на нижнем уровне позволило выделить один-два основных перспективных варианта его построения, отличающихся составом процессоров в центральной части КСУ и в периферийных его контурах.

Литература

1. Коржавин Г. А. Математическая модель оценки оптимального архитектурного обеспечения корабельных систем управления различного вида оружия // Информационно-управляющие системы. – № 2. – 2005. – С. 3–6
2. Чуев Ю. В. Исследование операций в военном деле. – М.: Воениздат, 1970. – 430 с.
3. Корбут А. А., Финнельштейн Ю. Ю. Задачи дискретного программирования. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
4. Хедли Д. Нелинейное и динамическое программирование. – М.: Мир, 1967. – 506 с.
5. Беллман. Динамическое программирование. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 118 с.
6. Уайльд Д. Методы поиска экстремума. – М.: Наука, 1967. – 98 с.
7. Чуев Ю. В., Мельников П. М. и др. Основы исследования операций в военной технике. – М.: Сов. радио, 1965. – 200 с.
8. Андреев И. И., Татарченко А. Е. Применение математических методов в военном деле. – М.: Воениздат, 1967. – 416 с.

УДК 621 398

КОМПЛЕКСНАЯ ОТРАБОТКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Р. Андриевский,

канд. техн. наук, профессор

И. В. Симановский,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Ю. Ф. Подоплекин,

доктор техн. наук, зам. генерального директора, директор по науке

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Рассматриваются определение круга задач центров полунатурного моделирования, опыт и возможности динамического испытательного комплекса ЦНИИ «Гранит».

Determination of the range of problems for centers of scaled-down simulation as well as experience and facilities of the dynamic test complex of the CRI «Granit» are examined.

Роль центров полунатурного моделирования в создании сложных систем

ЦНИИ «Гранит», являясь одновременно разработчиком систем автоматики и телемеханики, систем управления оружием и подвижными объектами, средств освещения обстановки и целеуказания, контрольно-проверочной аппаратуры и тренажеров, накопил большой опыт создания сложных радиоэлектронных систем как военного (например, интегрированных в ракетный разведывательно-ударный комплекс), так и гражданского (система управления высокоскоростной железнодорожной магистрали) назначения.

С самого зарождения методики полунатурного моделирования, при которой реальная аппаратура работает в условиях, имитирующих с максимальным подобием условия эксплуатации, институт начал создавать и применять такие стенды. Получая очевидную отдачу в виде повышения качества и полноты отработки создаваемой аппаратуры, институт продолжает развивать этот вид деятельности как полезный, реально повышающий его авторитет и конкурентоспособность.

Необходимо сразу отметить, что сложные интегрированные комплексы аппаратуры быстро и качественно могут создаваться только при одновременном применении двух внешне противоречивых принципов:

– декомпозиции на подсистемы и устройства с высокой степенью автономности их разработки;

– оптимизации характеристик составных частей сложной системы по критериям эффективности решения всей задачи.

Такой диалектический подход требует, с одной стороны, организации многоаспектного математического моделирования, накопления и использования опыта предшествующих разработок не только в форме повторения и развития удачных схемных и конструктивных решений, но в форме доказавших свою полезность комплексных математических моделей. Он требует оперативного управления ходом разработки с целью обеспечения своевременного проектирования общей структуры системы формирования частных требований и быстрого реагирования на их корректировки. Частные разработки оказываются связанными общим замыслом и расчетом.

С другой стороны, этот подход требует всесторонней проверки результатов коллективных усилий на соответствие общему замыслу. Необходим тотальный контроль соответствия результатов разработок составных частей начальным требованиям и отсутствия у них черт и характеристик, способных осложнить интеграцию на заключительном этапе, отсутствия проблем с диагностикой скрытых отказов. Сами математические модели – эта основа оптимального синтеза системы в целом – также должны быть проверены на адекватность результатам частных разработок.

Такой контроль обеспечивается на начальных этапах простой сверкой используемых математических моделей и требований. В дальнейшем созда-

ется иерархия стендов разработчиков подсистем и приборов. В эту иерархию входят и стенды алгоритмов управления подвижными объектами, стенды разработки и испытаний программно-математического обеспечения специализированных вычислительных систем. Замыкают иерархию стендов интеграционный стенд и динамический испытательный комплекс (центр моделирования). Его основная роль – проверка и подтверждение исходных данных, моделей и результатов предшествующего математического моделирования с необходимой заказчику полнотой. Центр моделирования, в котором реальная аппаратура (например, ракета в ходе «электронных пусков») взаимодействует с имитаторами и математическими моделями внешней среды и противодействия, играет роль «электронного полигона», испытания на котором по информативности превосходят натурные испытания. Конечно, всегда будет испытываться потребность в летных испытаниях пусками ракет, хотя бы для проверки как ракет, так и их носителей в реальных условиях старта. Но в трех отношениях полунатурное моделирование остается вне конкуренции.

Прежде всего, это относительная дешевизна охвата «электронными пусками» всего диапазона условий эксплуатации, задаваемого требованиями к создаваемой системе. Возможна и осуществляется на практике даже постановка статистического моделирования, обеспечивающего подтверждение выполнения вероятностных требований к общим характеристикам системы (и ее эффективности) с высокой доверительной вероятностью. Не имеет альтернативы способность центров моделирования обеспечивать испытания в условиях предельных, аварийных и катастрофических без потери материальных ценностей, без риска для людей и окружающей среды. Таким образом, проведение полунатурного моделирования существенно снижает риск разработчика, заказчика и персонала, эксплуатирующего новую систему как в ходе испытаний, так и при рутинном применении.

Наконец, трудно переоценить возможность многократного повторения испытаний с одним и тем же комплектом аппаратуры в хорошо контролируемых условиях при возникновении проблем с диагностикой причин нерасчетного поведения системы или ее частей. (Часто причиной оказывается несогласованность интерфейса между подсистемами, проявляющаяся только в условиях совместного функционирования.) Одной из задач становится своего рода «сопровождение» системы во время ее натуральных испытаний.

Хотя оптимальный синтез из числа основных задач полунатурного моделирования, как правило, исключается необходимостью быстрого завершения разработки и получения отдачи средств, вложенных в исследования, конструирование и опытное производство аппаратуры, такие задачи оправданы в качестве дополнительных для центра моделирования. Во-первых, отрицательные исходы

испытаний все же случаются. И те же требования быстроты и экономии делают именно центр моделирования удобным местом для проверки решений, улучшающих ситуацию. Во-вторых, сходное положение возникает при необходимости исследовать возможности удовлетворить измененным и дополненным требованиям при разработке предложенной по модернизации уже созданных систем, в том числе с использованием добавочных и качественно новых средств.

Если учесть, что у заказчиков могут быть потребности в подтверждении и уточнении оценок характеристик и эффективности эксплуатируемых систем в изменяющихся условиях и в сопоставлении по критерию «отдача/затраты» с возможными новыми разработками или приобретениями, мы еще расширим наше представление о возможных задачах и пользе центров полунатурного моделирования.

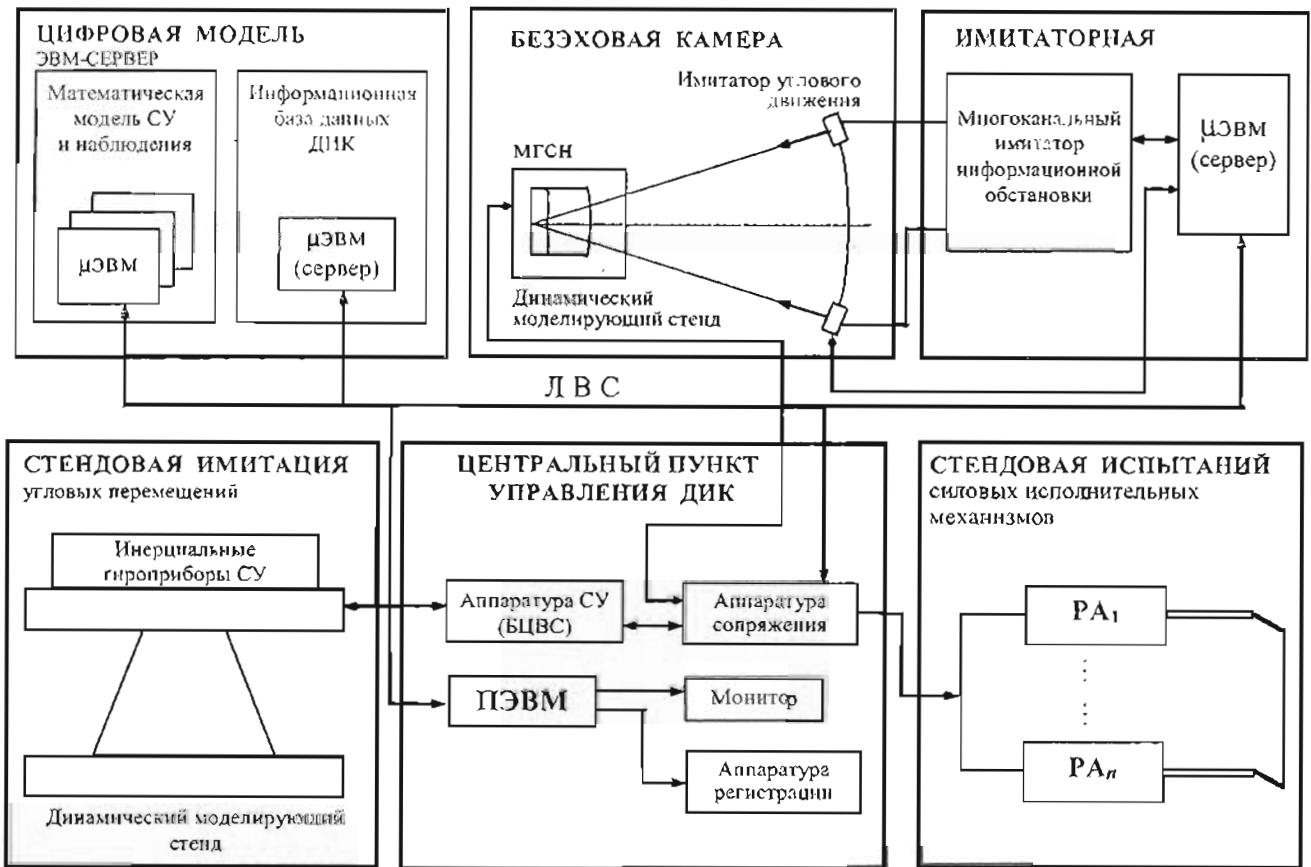
Уже при создании систем управления крылатыми ракетами первого поколения «П-6» и «Аметист» в 1956–1967 гг. полунатурное моделирование применялось столь широко, что потребовалась аренда дополнительных стендов Ленинградского политехнического института и НИИАС (тогда НИИ-2 МАП). В дальнейшем, для отработки СУ КР «П-500», «Гранит», «Вулкан» и новых ракетных комплексов оперативно и оперативно-тактического назначения, центр моделирования ЦНИИ «Гранит» получил дальнейшее развитие с использованием имитационных средств как собственной разработки и изготовления, так и созданных в кооперации с Ленинградским филиалом НИИ «Радио», и полностью удовлетворил потребности института и требования заказчика.

Структура динамического испытательного комплекса ЦНИИ «Гранит»

Структура динамического испытательного комплекса (ДИК) ЦНИИ «Гранит» для отработки систем управления ракетами с многоканальными головками самонаведения (МГСН) с имитацией условий обнаружения, классификации, селекции и сопровождения целей, а также помех и организованного противодействия приведена на рис. 1. ДИК обеспечивает проверку взаимодействия частей системы управления (СУ) при их совместном функционировании в условиях «электронного пуска» в реальном времени с достаточно точным моделированием реакции объекта управления на отклонения рулей и иные управляющие воздействия.

Оборудование ДИК обеспечивает решение ряда задач, в том числе:

- подтверждение и уточнение математических моделей СУ и ее составных частей;
- проверку алгоритмов управления и соответствующих программ управляющей бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС) в реальном времени;
- проверку функционирования реальной аппаратуры и динамики управления как в автономных режимах, так и в режиме «сквозной задачи»;



■ Рис. 1. Структура динамического испытательного комплекса (ДИК)

- обработку контуров управления, в том числе в условиях помех;
- анализ и воспроизведение результатов натуральных испытаний.

В состав ДИК входят следующие основные системы:

- беззеховая камера (БЭК), в которой устанавливаются МГСН на динамическом моделирующем стенде и имитатор угловых движений целей (с антеннами);
- имитаторная - многоканальный имитатор информационной обстановки с управляющей микроЭВМ;
- система математических моделей объекта управления с информационным банком данных ДИК;
- стендовая имитация угловых перемещений испытуемой СУ, в которой инерциальные измерители устанавливаются на динамическом моделирующем стенде-«качалке»;
- центральный пункт управления ДИК, в состав которого входят аппаратура сопряжения, аппаратура регистрации и персональная ЭВМ с монитором хода моделирования; здесь же может размещаться БЦВС испытуемой СУ;
- стендовая исполнительных механизмов (рулевых агрегатов СУ).

На структурной схеме опущены вспомогательные системы ДИК (системы энергообеспечения -

электроагрегатная, компрессорная, гидравлическая насосная станция, средства разработки программ вычислительных систем ДИК).

Математическая модель обеспечивает получение информации о положении объекта управления в пространстве, его относительной скорости движения, условиях движения наблюдаемых объектов, условиях распространения радиолокационных и оптических сигналов и т. п. Модель реализуется с использованием современных микроЭВМ с периферийным оборудованием, состав которого определяется решаемыми задачами. МикроЭВМ, расположенная в имитаторной, вырабатывает сигналы синхронизации и управления многоканальным имитатором информационной обстановки и имитатором углового движения объектов наблюдения.

Динамические моделирующие стенды механически воспроизводят абсолютные и относительные угловые движения объекта управления, МГСН и объектов наблюдения.

Беззеховая камера, в которой применены поглощающие материалы, обеспечивает работы со всеми видами сигналов многоканального имитатора. Излучатели, установленные на имитаторе относительных угловых движений, соединены волноводами, оптоволоконными и электрическими трактами с многоканальным имитатором информационной обстановки.

В целом ДИК представляет собой сложную систему современных вычислительных, радиоэлектронных, электромеханических и электрогидравлических средств, а также их программ, взаимодействующих в реальном времени с аппаратурой СУ.

Проведение полунатурного моделирования на ДИК является завершающей стадией оценки работоспособности и помехозащищенности разрабатываемых СУ, а также необходимым подтверждением математического моделирования СУ. Использование полунатурного моделирования, повышая полноту знаний о характеристиках разрабатываемых систем, позволяет существенно экономить на объемах полномасштабных натурных испытаний. При этом достигается существенное сокращение цикла работ и испытаний.

С помощью ДИК осуществляются разнообразные проверки работы систем управления группы объектов в различных условиях. Для дальнейшего развития этих возможностей испытательный комплекс модернизируется в части имитаторной и безэховой камеры (с созданием нового имитатора угловых движений нескольких целей, в частности, с проработкой использования фазированной антенной решетки и развитием технических средств поддерж-

ки цифровых моделей многоракетного залпа). Такое моделирование позволяет производить сравнительную оценку различных критериев целераспределения ракет залпа и оценивать вероятностные характеристики эффективности ракетного комплекса в целом.

Отработанная система проектирования больших комплексов с использованием мощных стендов математического и полунатурного моделирования, наличие современных технологий и научных кадров в совокупности позволяет ЦНИИ «Гранит» удерживать передовые позиции в России и на экспортном рынке в области систем управления ракетных комплексов морского и универсального базирования.

Литература

1. Тверской Г. Н., Терентьев Г. К., Харченко И. П. Имитатор эхосигналов в судовых радиолокационных станциях. – Л.: Судостроение, 1973. – 224 с.
2. Бескинд П. П., Виноградов Е. М., Винокуров В. И. Моделирование и испытания радиооборудования. – Л.: Судостроение, 1981. – 304 с.

УДК 623.93

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КОРАБЛЕЙ ВМФ

В. А. Никольцев,

канд. техн. наук, советник генерального директора по НИОКР

Г. А. Коржавин,

канд. техн. наук, генеральный директор

Ю. Ф. Подоплекин,

доктор техн. наук, зам. генерального директора, директор по науке

А. С. Васильевский,

канд. техн. наук, начальник лаборатории

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ "Гранит"»

Рассматриваются основные научные концепции, использующие технологии искусственного интеллекта в задачах управления современным оборонным предприятием и проектирования корабельных систем управления перспективных архитектур.

Basic scientific conceptions using artificial intelligence technologies for solving of problems of management of a contemporary defense enterprise and for designing of shipborne control systems of perspective architectures are examined.

Создание современных сверхсложных технических комплексов основано на реализации двух взаимозависимых процессов: во-первых, процесса собственно проектирования технических комплексов и, во-вторых, процесса управления компанией, производящей сложную техническую продукцию в современных условиях жесткой рыночной конкуренции (бизнес-процесса). Фундаментальные подходы, положенные в основу перспективной научной концепции и практической реализации и того и другого процессов, едины и представляют собой суть информационные технологии и технологии искусственного интеллекта. Те же фундаментальные подходы положены и в основу концептуальных и архитектурных решений самих проектируемых технических комплексов.

Реинжиниринг бизнес-процессов

Реинжиниринг – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения коренных улучшений основных показателей: качества, стоимости, темпов. Необходимость реинжиниринга объясняется высокой динамичностью современного делового мира. Непрерывные и существенные изменения в технологиях, рынках сбыта и потребностях заказчи-

ка стали обычным явлением, и чтобы выжить и сохранить конкурентоспособность, необходимо непрерывно перестраивать свою стратегию и тактику. Принцип разделения труда, послуживший базой для успешного развития бизнеса в течение последних двухсот лет, исходит из предположения об относительной стабильности существующих технологий, а также постоянно растущем спросе на товары и услуги. В подобных условиях наиболее эффективными оказались компании с иерархической пирамидальной структурой, разделенные по функциональному признаку. Однако развитие современных технологий привело к исчезновению стабильности, а рост конкуренции – к изменению роли потребителя. В этих условиях инерционность пирамидальной организации оказалась тормозом на пути к выживанию компаний.

Решением проблемы является смена базовых принципов организации компаний и переход к ориентации не на функции, а на процессы. Из всех концепций менеджмента, основанных на процессах, БПР (Business process reengineering) рассматривается как наиболее эффективный: впервые конструирование бизнеса превращается в инженерную деятельность. Возможность таких подходов обусловлена, в первую очередь, новейшими достижениями в области информационных технологий (ИТ), кото-

Прежнее правило	Технология	Новое правило
Информация может появляться в одно время в одном месте	Распределенные базы данных	Информация может появляться одновременно в тех местах, где она необходима
Сложную работу могут выполнять только эксперты	Экспертные системы	Работу эксперта может выполнять специалист по общим вопросам
Необходимо выбирать между централизацией и децентрализацией бизнеса	Телекоммуникационные сети	Бизнес может пользоваться преимуществами централизации и децентрализации одновременно
Все решения принимают менеджеры	Средства поддержки решений (доступ к базе данных, средства моделирования и т. д.)	Принятие решений становится частью работы каждого сотрудника (иерархическое принятие решений)
Для получения, хранения, поиска и передачи информации требуется офис	Беспроводная связь и переносные компьютеры	Сотрудники могут посылать и получать информацию из того места, где они находятся
Лучший контакт с потенциальным покупателем – личный контакт	Интерактивный видеодиск	Лучший контакт с потенциальным покупателем – эффективный контакт
Чтобы найти некоторый объект, необходимо знать, где он находится	Автоматическое индексирование и отслеживание	Объекты сами информируют о своем местонахождении
Планы работ пересматриваются и корректируются периодически	Высокопроизводительные компьютеры	Планы пересматриваются и корректируются оперативно, по мере необходимости

рые позволяют изменить базовые правила организации работы (см. примеры в таблице).

Можно выделить два вида влияния информационных технологий на деятельность организаций и БПР и, соответственно, две группы технологий, имеющих пересечение (рис. 1).

Технологии первой группы позволяют применить методы информатики для анализа и проектирования бизнес-процессов, а также упростить проведение БПР за счет автоматизации работ по реинжинирингу. Технологии второй группы обеспечивают появление новых процессов, что позволяет перейти к новым правилам работы в организациях. Выделяется шесть фаз (или основных этапов) реинжиниринга (рис. 2).

1. Постановка задачи реинжиниринга (создание модели предприятия) – спецификация основных целей компании исходя из ее стратегии, потребно-

стей заказчиков, общего уровня бизнеса в отрасли и текущего состояния компании

2. Обратный, или ретроспективный, инжиниринг – разработка менеджерами, при участии разработчиков информационных систем, детального описания существующей компании, идентификация и документирование ее основных бизнес-процессов, а также оценка их эффективности.

3. Перепроектирование бизнес-процессов – создание более эффективных рабочих процедур, определение способов использования информационных технологий, идентификация необходимых изменений в работе персонала

4. Разработка бизнес-процессов компании на уровне трудовых ресурсов – проектирование различных видов работ, подготовка системы мотивации, организация команд по выполнению работ и групп поддержки качества, создание программ подготовки специалистов и т. д.

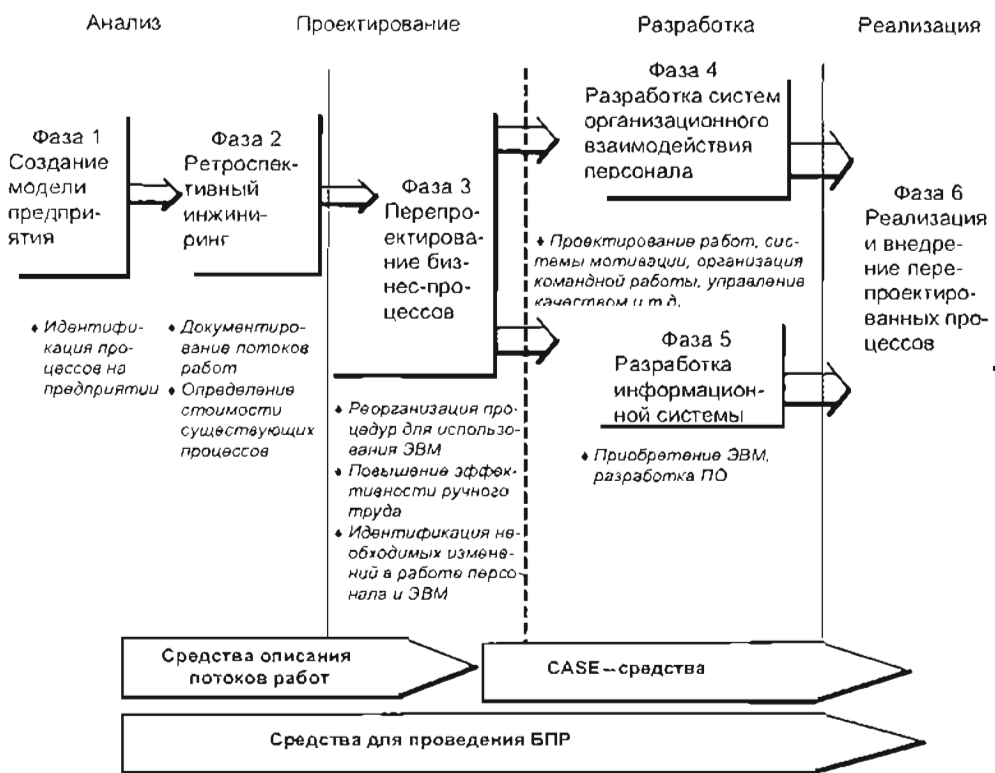
5. Разработка поддерживающих информационных систем – определение имеющихся ресурсов (оборудования, программного обеспечения) и реализация специализированной информационной системы (или систем) компании.

6. Реализация и внедрение перепроектированных процессов – интеграция и тестирование разработанных процессов и поддерживающей информационной системы, обучение сотрудников, установка информационной системы, переход к новой организации деятельности компании.

Обратим внимание на то, что в проведение реинжиниринга вовлекаются специалисты двух типов – профессионалы в области реконструируемого бизнеса и разработчики информационных систем. Опыт реинжиниринга показывает, что внедрение информационных технологий является уникальным и творческим процессом. Управляющие компаний и специалисты-технологи, знакомясь с методами ИТ, сами



■ Рис. 1. Два вида влияния информационных технологий на деятельность организаций и БПР



■ Рис. 2. Основные этапы реинжиниринга

делают открытия, касающиеся возможностей их использования в своем конкретном бизнесе. В то же время создание высококачественных информационных систем требует участия профессионалов в области ИТ. Возникает проблема нахождения общего языка. Решение этой проблемы стоит на пути интеграции современных средств высокого уровня моделирования и разработки: объектно-ориентированные методы, CASE-технологии, инженерия знаний, имитационное моделирование процессов и средства быстрой разработки приложений.

Большинство современных фирм основывают свои подходы к реинжинирингу исходя из CASE-технологии разработки информационных систем. Здесь можно отметить такие известные фирмы, как «Gemini Consulting» (методология Construct, инструментальное средство Business Works, построенное в среде VisualWorks Smalltalk) и «Andersen Consulting» (методология Eagle и набор инструментариев, обеспечивающий поддержку всех фаз проекта, за исключением четвертой).

Большой интерес представляет методология, основанная на объектно-ориентированном подходе. Для поддержки реинжиниринга разработана объектно-ориентированная программная среда Objectory с элементами CASE-технологии. Эта методология взята на вооружение целым рядом фирм. Однако приходится отметить, что модели, создаваемые в рамках этой методологии, достаточно сложны, и маловероятно, что управляющие компаний смогут работать с ними так же естественно и легко, как профессионалы в области ИТ

Отметим еще один подход, реализованный в ряде инструментариев. Его особенность состоит в сочетании новейших достижений таких областей информатики, как CASE-технологии, объектно-ориентированное программирование и статические экспертные системы. Подход предусматривает создание диаграмм, представляющих потоки работ, структуры данных, взаимосвязи объектов, состояния и переходы в описании процессов. В отличие от всех предыдущих подходов, здесь поддерживается процесс разработки программного обеспечения – от диаграмм, описывающих модель бизнеса, к работающему коду. И тем не менее даже этот подход, как и все предыдущие, ориентирован на разработчика информационных систем, а не на менеджеров компаний, осуществляющих реинжиниринг.

Для обеспечения активного участия менеджера в проведении реинжиниринга целесообразно объединить ключевые достижения современных информационных технологий объектно-ориентированного программирования, CASE-технологий, имитационного моделирования процессов, инженерии знаний и средств быстрой разработки приложений. Именно такая тенденция и наблюдается в настоящее время в развитии методологий и инструментальных средств БПР.

Объектно-ориентированное моделирование позволяет создавать прозрачные, легко модифицируемые модели бизнеса и информационных систем, допускающие повторное использование отдельных компонентов.

Имитационное моделирование обеспечивает наиболее глубокое представление моделей для непрограммирующего пользователя, а также наиболее полные средства анализа таких моделей. Модели создаются в виде потоковых диаграмм, в которых представлены основные рабочие процедуры в компании и описано их поведение, а также информационные и материальные потоки между ними. Как правило, предусмотрена анимация диаграмм. Однако построение реальных имитационных моделей является достаточно трудоемким процессом, а их реальный анализ (выходящий за рамки простого сбора статистики по срокам и стоимостям) может потребовать от пользователя специальной квалификации. Описание рабочих процедур может потребовать дополнительного программирования. Чтобы преодолеть эти трудности, целесообразно использовать методы инженерии знаний. Во-первых, с их помощью можно непосредственно представить в моделях плохо формализуемые знания менеджеров о бизнес-процессах и, в частности, рабочих процедурах. Во-вторых, можно решить проблему создания интеллектуального интерфейса конечного пользователя со сложными средствами анализа моделей.

Средства быстрой разработки приложений позволяют сокращать время создания поддерживающих информационных систем и, следовательно, необходимы не только в ходе реинжиниринга компании, но и на этапе эволюционного развития, сопровождающегося постоянными модификациями и улучшениями информационных систем компании.

Как научно-практическое направление БПР впервые появилось пять лет назад в оборонных компаниях США. В настоящее время начинается продвижение инструментариев по БПР на российский рынок. Применение мирового опыта построения эффективных организаций представляет несомненную ценность для оборонных компаний России, поставленных в тяжелые условия выживания и вытесняемых с мирового рынка вооружений.

Технология интеллектуальных систем проектирования

Традиционные классические методы, используемые в современных САПР, достигли предельных возможностей в технологии проектирования. Новые тенденции лежат в области интеллектуализации систем проектирования. Наиболее перспективным подходом в реализации этого направления является создание систем проектирования на базе прикладных экспертных систем, что принципиально отличается от традиционных алгоритмических методов их построения.

Классическое математическое обеспечение САПР отличается от интеллектуального тем, что использует детерминированные алгоритмы получения решений без учета эвристических приемов и навыков разработчиков. При этом алгоритмические

методы предполагают строго формализованный процесс проектирования и не увязаны с эвристическим подходом. Часто возникающая задача анализа адекватности данных при использовании сложных алгоритмов систем проектирования на основе традиционного алгоритмического подхода в большинстве случаев бывает неразрешима.

В процессе проектирования при использовании традиционных методов часть специальных знаний разработчиков теряется, поскольку в процессе диалога с ЭВМ не фиксируются применяемые или промежуточные решения и сделанные выводы, а сохраняются лишь конечные результаты. Это усложняет возможность поиска ошибочных решений и проверки действий разработчиков. Обезличивание программных средств систем проектирования проявляется в трудностях понимания сути используемых специальных знаний в виде методов решений, заложенных в Software, содержащих большие объемы информации. Таким образом, в классических САПР специальные знания неясно выражены и труднодоступны. При внедрении систем проектирования трудно управлять реальным содержанием специальных знаний разработчиков. Интеллектуализация проектирования, позволяющая преодолеть многие трудности, возникающие на различных этапах применения САПР, должна достигаться на основе эвристических методов, реализуемых в экспертных системах. Необходимость реализации принципов интеллектуальности обусловлена, прежде всего, следующим:

- сложностью обеспечения информационных связей между этапами проектирования, что вызывает необходимость в принятии пользователем решений на основе собственного опыта и интуиции;
- необходимостью длительного процесса обучения пользователей работе с системой;
- необходимостью выбора оптимального маршрута проектирования из возможных альтернативных путей.

Построение интеллектуальной системы проектирования должно основываться на принципе разделения данных, специальных знаний и правил, содержащихся в базе знаний (БЗ), и методов решения задач. Общая стратегия решения должна реализовываться с помощью совокупности эвристических правил, содержащихся в базе знаний и не зависящих от выбранной стратегии поиска проектных решений. Правила должны отражать специальные знания разработчика или интуитивные методы поиска решения. База знаний должна допускать открытый доступ к ней, расширение, модификацию. При задании системы правил следует учитывать особенности процесса разработки, условия эксплуатации проектируемого объекта, нормативы и т.п. Ядром такой САПР призвана служить БЗ, управляемая СУБД, и монитор системы с интеллектуальным интерфейсом. Ядро системы должно отображать состояние каждого файла и его отношений в текущий момент проектирования, осуществлять выбор и контроль за вы-

полнением функций подсистем, перевод исходного описания данных во внутримашинное представление. Мониторы подсистем должны выполнять функции отображения состояния проектирования, обращения к БД, вызова соответствующих подсистем, обращения по запросу пользователя к экспертной информации для принятия решений или оценки состояния объекта проектирования. Это позволит обеспечить следующие основные функции интеллектуальной САПР:

- способность вести диалоговое проектирование на языке, удобном пользователю (эксперту),
- способность приобретать новые знания в ходе диалога;
- способность объяснять ход проектирования на языке, удобном пользователю, что необходимо как при эксплуатации, так и при совершенствовании системы, отладке и модификации базы знаний.

В основу реализации интеллектуальной САПР должны быть положены предметно-специализированные инструментальные средства (ИС) на базе статических ЭС, включающих следующие основные компоненты:

- решатель (интерпретатор);
- рабочую память;
- базу знаний;
- компонент приобретения знаний;
- объяснительный компонент;
- диалоговый компонент.

Технической базой построения подобной системы должна служить сеть, объединяющая графическую рабочую станцию и автоматизированные рабочие места.

Технология прикладных экспертных систем позволит создавать и использовать открытые системы проектирования, легко меняющие собственную конфигурацию, легко адаптируемые к новым проектным задачам и предъявляющие к пользователям более низкие требования к их профессиональной подготовленности в области информационных технологий.

Технология искусственного интеллекта в перспективных архитектурах корабельных комплексов

Перспективные концепции, закладываемые в современные архитектурные и технические решения подводных и надводных кораблей ВМФ, включая системы вооружения, лежат в направлении их интеллектуализации. Другими словами, современные стратегические и тактические задачи кораблей ВМФ требуют от технических комплексов способности к быстрому и адекватному самостоятельному (независимому от экипажа) или в диалоге с экипажем принятию решений в условиях динамичной внешней оперативной обстановки. Основой таких перспективных технических решений является включение в архитектуру корабельных технических комплексов экспертных систем (ЭС) реального времени, (или динамических ЭС).

Экспертные системы реального времени, включаемые в контуры управления корабельных технических комплексов, должны удовлетворять целому ряду специфических требований:

- представлять, хранить и анализировать изменяющиеся во времени и пространстве данные, поступающие от разнообразных внешних источников,
- планировать ранжированную обработку различных асинхронных процессов, поступающих в систему;
- обеспечивать механизм распределения в условиях ограничений на время и память;
- гарантировать выполнение каждой задачи в соответствии с жесткими требованиями логико-временной диаграммы работы комплекса;
- обеспечивать моделирование различных состояний и динамики внешней среды;
- обеспечивать возможность реанимации процессов после сбоев и отказов;
- архивировать собственные действия и действия операторов;
- поддерживать многоуровневую категоризованную структуру защиты информации;
- обеспечивать создание и поддержку пользовательских интерфейсов.

Использование ЭС позволяет перейти от чисто расчетных прикладных программ к преимущественно нечисловой обработке и интерпретации данных. При этом в обозначенной предметной области, для которой могут быть сформулированы строгие в математическом смысле методы решения, увеличение объема обрабатываемых данных приводит к качественному скачку, вызывающему экспоненциальный рост требований к вычислительным ресурсам. Единственным выходом в этом случае является использование аппроксимационных методов и эвристики. Существующие инструментальные средства для создания ЭС несвободны от недостатков, заложенных как в основополагающих принципах используемого математического аппарата, так и в допущениях, принимаемых в конкретных реализациях. Наиболее популярная конструкция для представления знаний – продукционные правила – не несет никакой семантической нагрузки, связанной с развертыванием причинно-следственных отношений во времени. Такой подход позволяет описать целый ряд сравнительно простых задач и достаточно легко строить цепочки рассуждений. Представление же на его основе знаний о реальных процессах, протекающих во временной среде, и получение удовлетворительного решения в рамках временных ограничений, накладываемых скоростью протекания этих процессов, является нетривиальной задачей. Недостатками существующих подходов к представлению знаний о динамических средах является, с одной стороны, неявный тезис об использовании при решении задач вычислительной машины «мгновенного действия» (при этом все задачи превращаются в статические), а с другой – отступление от основополагающих принципов в пользу простоты реализации.

ЭС реального времени, работающая в контуре управления корабельных технических комплексов, должна обеспечить:

- 1) пассивный мониторинг;
- 2) активный мониторинг;
- 3) контроль, т. е. пассивный и активный мониторинг;
- 4) принятие оперативных решений по обнаруженным ситуациям;
- 5) синхронизацию совместной работы распределенных внешних объектов в соответствии с требуемым сценарием или ситуативными целями;
- 6) планирование выхода из неблагоприятных ситуаций при работе со сложными дискретными распределенными объектами и процессами;
- 7) управление распределенными внешними параллельно-функционирующими объектами;
- 8) диалог с рабочими местами персонала с выдачей ему команд, запросов, сообщений и обработку его команд, запросов, сообщений;
- 9) организацию групповой деятельности операторов;
- 10) работу в качестве управляемого элемента более обширной распределенной системы, т. е. обработку внешних команд средствами подчиненных ресурсов;
- 11) выполнение в псевдопараллельном режиме в одной прикладной задаче одновременно всех перечисленных процессов или любого их набора.

Интересующая нас проблемная область (ПрО) относится к классу открытых динамических ПрО и характеризуется:

- невозможностью полного и строгого описания логики принятия решений;
- изменением законов функционирования объектов во времени в зависимости от изменения внешней ситуации;
- изменением стратегии управления;
- жесткими ограничениями на время принятия решения при наличии большого числа наблюдаемых факторов и параметров; в связи с этим при создании требуемой ЭС необходимо решать ряд новых проблем – представление динамичной ПрО, в которой функционирует система; выполнение умозаключений с учетом реального времени и реального внешнего окружения.

Сформулируем требования, которым должны удовлетворять инструментальные средства (ИС), предназначенные для создания ЭС, включенной в контур управления корабельными техническими комплексами. Прежде всего ИС должны включать механизмы выполнения временных рассуждений (примитивы для представления времени, свойства времени, структуры модели времени), средства хранения и обработки последовательностей данных, средства представления (и выявления) характера изменения данных (возрастание, убывание, скачки, разрывы, цикличность и т. д.).

Для реализации временных рассуждений в рамках ИС должны быть представлены следующие понятия.

- временные шкалы, интервалы, диапазоны, операции преобразования;
- временные отношения между данными и состояниями ПрО;
- временные кванторы, используемые при формировании утверждений о состоянии ПрО;
- времена жизни, сбора и обработки данных.

Для выяснения характера изменения данных во времени требуется представлять: параметры последовательности данных, процедуры обработки этой последовательности, действия при недостатке информации. Ключом к успеху построения требуемой ЭС является разработка инструментария, базирующегося на использовании пространственно-временных модальностей при описании динамических сред и механизмов построения быстро сходящихся цепочек рассуждений на базе таких описаний. Задача распадается на ряд взаимосвязанных подзадач, без решения которых невозможно решение проблемы в целом. Прежде всего должны быть решены вопросы, связанные с изменением архитектуры экспертной системы. При этом кроме изменений в основных компонентах традиционной экспертной системы, предназначенной для решения статических задач (диалоговый компонент, решатель, база знаний, рабочая память и объяснительный компонент), должны быть исследованы структура, методы реализации и роль новых компонентов, специфичных для динамических ЭС:

- подсистема моделирования внешнего мира;
- подсистема сопряжения с внешним миром.

Следующая группа задач связана с выбором естественного способа представления знаний о процессах, протекающих во времени. Основой для такого представления могут служить понятия: среднее значение, интервал, интерполированное значение, максимальное значение, минимальное значение; скорость изменения значения; стандартное отклонение; текущее значение. Перечисленные функции должны быть определены для широкого спектра вариантов задания интервалов времени.

Особое внимание необходимо уделить эффективной организации планировщика заданий, способного решать параллельные по своей сути задачи на базе последовательных средств вычислительной техники. Проблема усложняется тем, что в общем виде вопросы разработки параллельных алгоритмов не решены. Исключение составляют лишь некоторые задачи векторных преобразований. Важной задачей является также организация длительной (в идеале – бесконечной) работы ЭС без необходимости наращивания объема используемой оперативной памяти и, соответственно, без механизмов сборки мусора.

Объектно-ориентированная парадигма в программировании (ООП) может служить отправной точкой в формировании методологии динамических экспертных систем. ООП позволяет резко повысить выразительную мощь синтаксических конструкций, используемых в правилах и процедурах, за счет

соотнесения их с классами, находящимися как можно выше в иерархии наследования. Процедуры, ассоциированные с определенными классами, обеспечивают эффективный механизм для представления поведенческих аспектов анализируемой системы. Механизмы передачи и обработки сообщений позволяют описывать сложные, недетерминированные реакции на события, происходящие во внешней среде. Использование ООП, само по себе, не обеспечивает автоматического решения всех проблем. Это объясняется тем, что ООП все-таки ориентирована на отображение статической картины среды. Для преодоления этого недостатка предлагается дополнить ООП, с одной стороны, механизмами описания процессов, развивающихся во времени, а с другой – ввести поддержку механизмов, отслеживающих "время жизни" переменных и процесса логического вывода на основе базы знаний в целом. Под "временем жизни" подразумевается интервал, в течение которого значение переменной (набора переменных) и истинность построенной на основе этого значения (значений) цепочки рассуждений остаются актуальными. При этом указанные расширения не нарушают общей концепции ООП, так как процессы и переменные, имеющие время жизни, и используемые стратегии логического вывода могут быть представлены особыми классами со специфическими свойствами. На базе такой расширенной иерархии классов достаточно просто реализуется концепция множественных интеллектуальных агентов, взаимодействующих в ходе решения задачи.

Важным фрагментом методологии создания требуемой ЭС является развитие семантики продукционных правил в части учета представления знаний на базе иерархии классов (обобщенные и специфические правила) и в части учета динамического характера решаемой задачи. Развитие семантики продукционных правил для учета временного характера причинно-следственных связей прежде всего определяется введением различных типов правил и атрибутов правил как особого класса синтаксических конструкций, определяющих стратегию их использования. Кроме известных стратегий прямого и обратного вывода, показавших свою несостоятельность при решении динамических задач, и широко распространенного метода сканирования заданного набора правил через определенные промежутки времени, рекомендуются механизмы мета-уровня для возбуждения правил определенных категорий, правил, ассоциированных с заданными классами объектов и правил, возбуждаемых в ответ на определенные события внешней среды.

На основе предложенной методологии программ работ по созданию ЭС реального времени в кон-

туре управления корабельными техническими комплексами выглядит следующим образом:

- исследование возможности использования различных вариантов псевдофизических временных логик для описания конкретных динамических сред;
- разработка базовой проблемно-ориентированной иерархии классов для представления базы знаний ЭС,
- разработка стратегий немоного вывода, позволяющих решать определенный, весьма представительный класс динамических задач в реальном масштабе времени;
- разработка уточненной архитектуры ЭС;
- разработка правил и механизмов взаимодействия между самостоятельными агентами знаний (имитационная модель объекта управления, подсистемы представления императивных и декларативных знаний, интерфейсные компоненты и т. д.) в ходе решения задачи;
- разработка макета проблемно-ориентированной инструментальной среды для создания ЭС

Заключение

Технология систем искусственного интеллекта в применении к задаче управления большой проектной организацией, к задаче проектирования сложных технологических комплексов, а также в использовании ее непосредственно в архитектурных решениях корабельных систем, конечно, не является единственной перспективной технологической тенденцией. Тем не менее, это определяющее направление в проблеме создания жизнеспособных оборонных предприятий XXI века и в проблеме производства и сбыта современных видов вооружений. Российские оборонные компании не только будут вынуждены сами вести конкурентную борьбу за выживание и развитие в мире рыночных отношений, но и своей специфической продукцией обеспечивать поддержку отечественной промышленности, финансовой системы и торговли во все более агрессивной мировой экономической среде. И эта среда уже сегодня с нарастающими темпами меняет свое индустриальное содержание уходящего века на информационно-интеллектуальное будущего.

Литература

1. **George F. Luger** Artificial Intelligence Structures and Strategies for Complex Problem Solving – Addison Wesley. – Boston, 2003. – 863 p.
2. **Adré Thayse Pascal Gribomont**. Approche 'Logique de L'intelligence artificielle. De La logique modale à la logique des bases de données // Phillips Research Laboratory. – Bruxelles, 2002. – 495 p.

УДК 681 883

КЛАССИФИКАЦИЯ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО РАДИОЛОКАЦИОННОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ

Е. А. Войнов,

канд. техн. наук, зам. директора научно-производственного комплекса

Ю. Ф. Подоплекин,

доктор техн. наук, зам. генерального директора, директор по науке

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Рассматривается возможность классификации надводных объектов, основанной на оценке информативных признаков – продольного и поперечного размеров, радиальной скорости и архитектуры объекта по его радиолокационному образу, полученному путем синтезирования апертуры РЛС ЛА в передне-боковом обзоре, и вынесения решения о классе объекта при сравнении значения статистической решающей функции информативных признаков с пороговым уровнем.

The possibility of surface objects classification based on the estimation of informative characteristics – longitudinal and transversal sizes, range rate and the architecture of the object according to its radar image received by means of synthesizing of aperture of the aircraft's radar station on forward and side surveillance is examined as well as the possibility of the decision of the class of the object on comparison of the statistical decision function of informative characteristics with the threshold level.

Одним из основных ограничений активной радиолокационной станции (РЛС) ЛА является недостаточно высокое разрешение по углу, определяемое размером антенны. Для когерентной РЛС ЛА, обеспечивающей высокое разрешение по доплеровским частотам, ограничение снимается путем реализации эффекта синтезирования апертуры антенны. Практически это происходит в условиях, когда надводный корабль (НК), движущийся со скоростью V_u , составляет некоторый постоянный угол β_c с направлением вектора скорости ЛА V и находится внутри диаграммы направленности антенны $\Delta\psi$ (рис. 1). Этот эффект эквивалентен синтезированию апертуры антенны в передне-боковом обзоре [1].

Учитывая, что $V \gg V_u$, дальность до элемента цели $R(t)$ представляется как

$$R(t) \approx R_0 \left(1 - \frac{V \cos \beta_c - V_u \cos \alpha}{R_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{Vt}{R_0} \right) \sin^2 \beta_c \right) \quad (1)$$

где α – ракурс цели (угла между V_u и направлением облучения).

Фазовый набег принимаемого сигнала выражается следующим образом:

$$\Delta\varphi(t) \approx \omega_0 t + \frac{2\omega_0}{C} (V \cos \beta_c - V_u \cos \alpha) t - R_0 \frac{\omega_0}{C} \left(\frac{Vt}{R_0} \right) \sin^2 \beta_c. \quad (2)$$

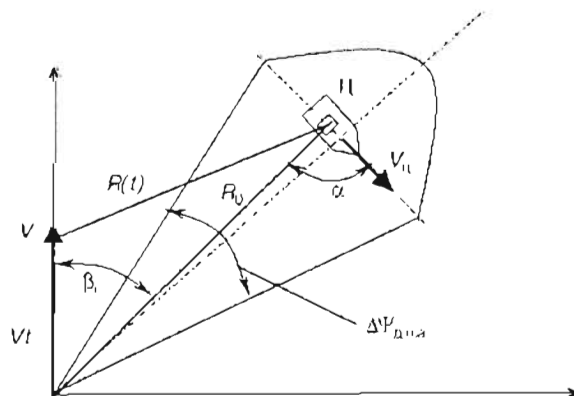
Второй член этого выражения характеризует доплеровский сдвиг частоты:

$$F_d = \frac{2(V \cos \beta_c - V_u \cos \alpha)}{\lambda}. \quad (3)$$

Третий член означает линейную частотную модуляцию с девиацией

$$\omega_0 \frac{V^2 t^2}{CR_0} \sin^2 \beta_c,$$

зависящей от времени обработки, дальности до цели и направления прихода сигналов – β_c .



■ Рис. 1. Схема синтезирования апертуры антенны в передне-боковом обзоре

Полагая, что

$$\left| \frac{2V^2 t^2}{CR_0} \sin^2 \beta_c \leq \frac{\pi}{2} \right.$$

получаем выражение для предельного времени когерентной обработки

$$t_k \leq \frac{\sqrt{\lambda R_0}}{2V \sin \beta_c} \quad (4)$$

и предельной полосы пропускания одного канала обработки по доплеровской частоте

$$F_d = \frac{1}{t_k} = \frac{2V \sin \beta_c}{\sqrt{\lambda R_0}} = \frac{2V}{\lambda} \sin \beta_c \Delta \beta, \quad (5)$$

где $\Delta \beta = \sqrt{\frac{\lambda}{R_0}}$ – предельное угловое разрешение.

Наличие конечного углового разрешения $\Delta \beta$, которому соответствует линейное разрешение $\Delta Z = R_0 \Delta \beta = \sqrt{\lambda R_0}$, характеризует обзор с приведенной обработкой по доплеровской частоте как нефокусированный обзор в том смысле, что антенна с синтезированием апертуры «сфокусирована» на бесконечной дальности. Например, при $V = 800$ м/с, $\lambda = 3$ см, $\beta_c = 15^\circ$, $R_0 = 15$ км линейное разрешение составит 20 м при $t_k = 50$ мс, что существенно лучше разрешения, определяемого размером луча антенны $\Delta \Psi$ (так при $\Delta \Psi = 0,1$ рад и $R_0 = 15$ км – $\Delta Z = 1500$ м)

Высокое угловое разрешение $\Delta \beta (\Delta Z)$ в совокупности с высоким разрешением по дальности ΔR , достигаемым за счет использования широкополосного зондирующего сигнала, позволяет получить двумерное радиолокационное изображение (РЛИ) НК (рис. 2).

Размеры корабля в радиальном направлении определяются по числу каналов дальностей, а в поперечном направлении – по числу частотных каналов, в которых присутствуют отраженные сигналы. В случае подвижной цели, какой является надводный корабль, анализ РЛИ позволяет определить его дли-

ну, угол между направлением наибольшей протяженности РЛИ и направлением облучения – ракурс цели α , с точностью до 180° , а также определить собственную скорость цели, т. е. $V_u \cos \alpha$, для чего

$$\bar{F}_{d_u} = \bar{F}_d - \frac{2V}{\lambda} \cos \beta_c.$$

Если $\bar{F}_{d_u} < 0$, то НК удаляется, в противном случае – наоборот. При этом

$$V_u = \left| \frac{\lambda \bar{F}_{d_u}}{2 \cos \alpha} \right|.$$

Суть определения геометрических размеров цели состоит в том, что в каждом элементе разрешения по дальности – ΔR в диапазоне дальностей (границы зоны обзора по дальности) – $q_{\min} \leq q \leq q_{\max}$ и линейного разрешения по углу – ΔZ в частотных доплеровских каналах – $r = 1, 2, \dots, m$ для каждого значения q осуществляется когерентное накопление сигналов

$$S(r, q) = \sum_{i=1}^m S_i r q \quad (6)$$

и определяются координаты $r_1(q)$ и $r_2(q)$ контура радиолокационного изображения цели из условия

$$\begin{aligned} S(r_1 - 1, q) < C_0, S(r_1, q) \geq C_0; \\ S(r_2, q) \geq C_0, S(r_2 + 1, q) \leq C_0, \end{aligned} \quad (7)$$

а также граничные – минимальное q_1 и максимальное q_2 – значения q , при которых эти условия выполняются (где $C_0 \geq 0$ – пороговый уровень, определяемый допустимой вероятностью ложного срабатывания в условиях шумов и помех).

По координатам $r_1(q)$ и $r_2(q)$ можно определить параметры a, d отрезка прямой $r(q) = aq + d$, $q_1 \leq q \leq q_2$ на плоскости r, q из условия:

$$\min_{(a,d)} \left[\frac{\sum_{q=q_1}^{q_2} [r(q) - r_{cp}(q)]^2}{q_2 - q_1 + 1} \right]^{1/2}, \quad (8)$$

где $r_{cp}(q) = 0,5(r_1(q) + r_2(q))$.

Найденное положение прямой $r_1(q)$ позволяет вычислить оценку ракурса цели α по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(r(q_2) - r(q_1) + 1) \Delta Z}{(q_2 - q_1 + 1) \Delta R} \quad (9)$$

и максимальные продольные (L) и поперечный (B) ее размеры по формулам

$$L = \frac{q_2 - q_1 + 1}{|\cos \hat{\alpha}|} \Delta R;$$

$$B = \max_{q_1 \leq q \leq q_2} (r_2 - r_1 + 1) \Delta Z |\cos \hat{\alpha}|. \quad (10)$$

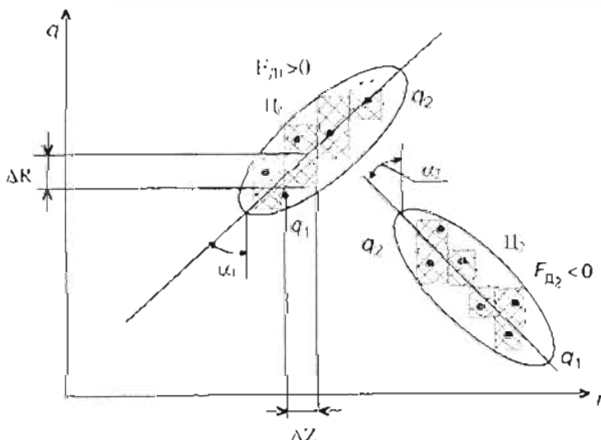


Рис. 2. Двумерное радиолокационное изображение НК

Затем проверяется выполнение условия $q_2 - q_1 \geq r(q_2) - r(q_1)$ и, если оно не выполняется, то повторяются операции от нахождения координат контура до оценки размеров цели после перестановок:

$$q \leftrightarrow r, \Delta R \leftrightarrow \Delta Z, \alpha \rightarrow \frac{\pi}{2} - \alpha.$$

Такая перестановка повышает точность оценок по приведенным формулам в ситуациях, когда радиальный размер цели оказывается меньше поперечного (см. рис. 2, цель Ц₂).

Рассмотрим случай бинарной классификации целей по совокупности признаков $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$, значения которых будем предполагать статически независимыми и с нормально распределенными параметрами $\gamma_{11}, \gamma_{21}, \dots, \gamma_{n1}, \sigma_{11}, \sigma_{21}, \dots, \sigma_{n1}$ и $\gamma_{12}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{n2}, \sigma_{12}, \sigma_{22}, \dots, \sigma_{n2}$ – для первого и второго классов соответственно.

Тогда, составляя отношение правдоподобия [2] по отношению к совокупности информативных признаков,

$$\frac{W_1(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)}{W_2(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)} = I(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n), \quad (11)$$

получим после его логарифмирования и простых преобразований правило решения:

$$\text{если} \quad \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i(\gamma_{i1} - \gamma_{i2})}{\sigma_i^2} \geq A, \quad (12)$$

то цель относится к классу 1 ($i = 1$), в противном случае – к классу 2 ($i = 2$).

Пороговое значение A статистической решающей функции выбирается в зависимости от желаемого соотношения между вероятностями ошибок классификации (и их стоимостями). В важном для практики частном случае, когда ошибки (ошибочная классификация цели класса 1 как цель класса 2 и наоборот) равноценны, получаем выражение

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{(\gamma_{i1}^2 - \gamma_{i2}^2)}{2\sigma_i^2}, \quad (13)$$

Тогда класс цели определяется в результате выполнения условия

$$\frac{L(L_1 - L_2)}{\sigma_L^2} + \frac{B(B_1 - B_2)}{\sigma_B^2} \geq A_0, \quad (14)$$

где L_1, L_2, B_1, B_2 – априорно известные значения длины и ширины радиолокационного изображения двух классов целей, например, главных и неглавных, σ_L, σ_B – априорно известные усредненные среднеквадратические отклонения; A_0 – пороговое значение, выбираемое в зависимости от желаемого соотношения между вероятностями (и стоимостями) ошибок классификации.

В качестве дополнительных информативных признаков целесообразно использовать координаты

наиболее интенсивно отражающих точек цели в системе координат, связанной с целью. Для этого необходимо измерить доплеровскую частоту $F_{дл}$ отраженных сигналов, присутствующих по направлению β , оси диаграммы направленности антенны относительно направления вектора V скорости ЛА, при $|F_{дл}| \geq F_0$, где F_0 – пороговое значение

Координаты носа (или кормы) наблюдаемой цели определяются по правилам вида:

$$\text{при} \quad |F_{дл}| > 0 \quad q_H = q_1, r_H = aq_2 + d(\text{нос}),$$

$$\text{при} \quad |F_{дл}| < 0 \quad q_H = q_2, r_H = aq_2 + d(\text{нос}). \quad (15)$$

Затем сравниваются между собой накопленные значения $S(r, q)$ и определяются координаты r_i, q_i максимальных значений, где $i = 1, 2, \dots, n, n > 1$. Расстояния этих точек от носа находят по правилам:

$l_{0i} = (q_i - q_H)\Delta R \cos \hat{\alpha}_i + (r_i - r_H)\Delta Z \sin \hat{\alpha}_i$ – по продольной оси;

$b_{0i} = (r_i - r_H)\Delta Z \cos \hat{\alpha}_i + (q_i - q_H)\Delta R \sin \hat{\alpha}_i$ – в поперечном направлении.

Решение о классе наблюдаемой цели определяется по правилу, если

$$\frac{L(L_1 - L_2)}{\sigma_L^2} + \frac{B(B_1 - B_2)}{\sigma_B^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{l_{0i}^2 - l_{02i}^2}{\sigma_{li}^2} + \frac{b(b_1 - b_2)}{\sigma_{bi}^2} \right] \geq A_1, \quad (16)$$

то цель – главная.

При этом $l_{01i}, l_{02i}, b_{01i}, b_{02i}$ – априорно известные усредненные внутри классов расстояния наиболее отражающих точек от носа в продольном и поперечном направлениях для классов «главных» и «неглавных» целей соответственно; σ_{li}, σ_{bi} – соответствующие усредненные среднеквадратические отклонения; A_1 – пороговое значение, выбираемое в зависимости от желаемого соотношения между вероятностями (и стоимостями) ошибок классификации.

Выводы

Проведенное математическое моделирование рассматриваемой классификации НК (при разрешении $\Delta R = \Delta Z = 20$ м) показало возможность получения вероятности правильной классификации на уровне $P \geq 0,9$ при вероятности ложной классификации $F \leq 0,1$. При этом классификации подвергались НК, условно разделенные по их геометрическим размерам на три класса: малые – до 50 м, средние – до 100 м и большие – более 150 м.

Литература

1. Толстов Е. Ф., Шаповалов А. В. Разрешающая способность РЛС с синтезированной апертурой антенны при произвольном угле наблюдения // Радиотехника. – 1983. – № 3. – С. 3–18.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 2. – М.: Сов. радио, 1968. – 65 с.

УДК 621.396.963

ОЦЕНКА ЧИСЛА ОБЪЕКТОВ В ГРУППЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЕ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СТАНЦИЯМИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

О. Г. Мальцев,

канд. техн. наук, начальник лаборатории

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Методом максимального правдоподобия оценивается число объектов в группе по результатам ее обнаружения радиолокационными станциями многопозиционной радиолокационной системы. Уравнение максимального правдоподобия решается методом последовательных приближений, а точность оценки (нижняя и верхняя границы ее доверительного интервала) исследуется методом статистического моделирования на ЭВМ.

The maximum-likelihood method estimates the quantity of objects in a group by results of its detection by radar stations of the multiposition radar system. The equation of maximum-likelihood is solved with the method of successive approximations and the precision of estimate (low and upper bound of its confidence interval) is studied with the method of statistical modeling on a computer.

Введение

Одним из перспективных направлений развития радиолокации является создание многопозиционных радиолокационных систем (МПРЛС). Такие системы обладают рядом преимуществ перед однопозиционными радиолокационными станциями [1]. Наиболее простыми в технической реализации являются МПРЛС с автономным приемом сигналов – пространственно-некогерентные МПРЛС с объединением информации на уровне единичных замеров. В таких системах для передачи данных в пункт совместной обработки информации используются линии связи с небольшой пропускной способностью.

Основной операцией совместной обработки информации является группирование по признаку принадлежности к одному и тому же объекту радиолокационных отметок, полученных на разных позициях МПРЛС, или отождествление радиолокационных изображений (РЛИ) точечной конфигурации (группы объектов). Задача отождествления РЛИ точечной конфигурации имеет трудности комбинаторного характера, поскольку для выбора окончательного (оптимального в смысле заданного критерия) варианта группирования радиолокационных отметок требуется сформировать и сравнить между собой большое число различных гипотез, и это число экс-

поненциально растет с увеличением размерности задачи (количества отождествляемых объектов). Так, при отождествлении двух РЛИ с числом точек на первом и втором изображениях соответственно n_1 и n_2 статистические процедуры отождествления требуют проверки N гипотез:

$$N = \sum_{k=1}^{n_{\min}} c_{n_1}^k c_{n_2}^k k!$$

где $c_{n_1}^k$, $c_{n_2}^k$ – числа сочетаний соответственно из n_1 и n_2 элементов по k ; k – число общих точек (идентичных объектов) на отождествляемых РЛИ; $n_{\min} = \min\{n_1, n_2\}$.

В пределах k -го семейства гипотез на отождествляемых РЛИ путем перебора (полного или направленного) отыскиваются k идентичных объектов. Окончательный вариант отождествления ищется среди n_{\min} вариантов, каждый из которых является оптимальным (в смысле заданного критерия) в соответствующем семействе гипотез.

Уменьшить число просматриваемых семейств гипотез и, следовательно, общее число сравниваемых вариантов отождествления позволит информация о количественном составе группы объектов. Действительно, если известна верхняя граница \hat{n}_B доверительного интервала оценки n числа объектов

в группе, то число k идентичных объектов в k -м семействе гипотез должно удовлетворять условию

$$n_1 + n_2 - k \leq \hat{n}_в,$$

т. е. достаточно просмотреть только те k -е семейства гипотез отождествления, для которых $k = k_-, k_- + 1, \dots, \min\{n_1, n_2\}$, где через k_- обозначено значение k , при котором $n_1 + n_2 - k_- = \hat{n}_в$.

Оценка числа объектов в группе методом максимального правдоподобия

Общее число точек на i -м РЛИ является суммой

$$\eta_i = n_i + fQ, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где n_i – число радиолокационных отметок от объектов; f – вероятность появления ложной точки (ложной тревоги); Q – число разрешаемых элементов в зоне обнаружения (fQ – среднее число ложных точек на РЛИ).

Величины f и Q характеризуют свойства обнаружителя и являются заданными (известными). Учитывая это обстоятельство, число $n_i = \eta_i - fQ$ радиолокационных отметок от объектов (число обнаруженных объектов) также будем считать известным.

Распределение числа n_i объектов, обнаруженных на i -й ($i = 1, 2, \dots, m$) позиции (i -й радиолокационной станцией МПРЛС), подчиняется биномиальному закону. Тогда функция правдоподобия $p(n_1, n_2, \dots, n_m/n)$ чисел n_1, n_2, \dots, n_m объектов, обнаруженных на соответствующих позициях МПРЛС из общего числа n объектов, запишется в виде

$$p(n_1, n_2, \dots, n_m/n) = \prod_{i=1}^m \frac{n(n-1)\dots(n-n_i+1)}{n_i!} d^{n_i} (1-d)^{n-n_i}, \quad (1)$$

где d – вероятность правильного обнаружения объекта.

Число n , обеспечивающее максимум функции правдоподобия (1), определяют из условия

$$\frac{\partial \ln p(n_1, n_2, \dots, n_m/n)}{\partial n} \Big|_{n_i = \hat{n}, i=1, 2, \dots, m} = 0, \quad (2)$$

где $\hat{n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i$ – среднее число объектов, обнаруженных на одной позиции МПРЛС.

Уравнение (2) приведем к виду

$$\sum_{i=1}^{\hat{n}} \frac{1}{n-i+1} = \ln \frac{1}{1-d}$$

или, после преобразований – к виду

$$\psi(n+1) - \psi(n-\hat{n}+1) = \ln \frac{1}{1-d}, \quad (3)$$

где $\psi(z) = \frac{\Gamma'(z)}{\Gamma(z)}$ – пси-функция (логарифмическая производная гамма-функции $\Gamma(z)$) [2].

Значения пси-функции при целых положительных значениях аргумента рассчитываются следующим образом [2]:

$$\psi(1) = -C;$$

$$\psi(2) = \psi(1) + 1 = -C + 1;$$

$$\psi(3) = \psi(2) + \frac{1}{2} = -C + 1 + \frac{1}{2};$$

.....

$$\psi(z) = \psi(z-1) + \frac{1}{z-1} = -C + \sum_{i=1}^{z-1} \frac{1}{i},$$

где $C \approx 0,577$ – постоянная Эйлера-Маскерони.

Решение уравнения (3) относительно n при заданных значениях \hat{n} и d легко алгоритмируется и может быть найдено методом последовательных приближений за конечное $l+1$ число шагов:

1-й шаг: полагается $n := \hat{n}$; $S(1) := \psi(\hat{n}+1) - \psi(1)$;

2-й шаг: $n := \hat{n} + 1$; $S(2) := \psi(\hat{n}+2) - \psi(2) = S(1) + \frac{1}{\hat{n}+1} - \frac{1}{2}$

3-й шаг: $n := \hat{n} + 2$; $S(3) := \psi(\hat{n}+3) - \psi(3) = S(2) + \frac{1}{\hat{n}+2} - \frac{1}{2}$;

.....

l -й шаг: $n := \hat{n} + l - 1$;

$$S(l) := \psi(\hat{n}+l) - \psi(l) = S(l-1) + \frac{1}{\hat{n}+l-1} - \frac{1}{l-1};$$

$(l+1)$ -й шаг: $n := \hat{n} + l$;

$$S(l+1) := \psi(\hat{n}+l+1) - \psi(l+1) = S(l) + \frac{1}{\hat{n}+l} - \frac{1}{l}.$$

Поскольку $\frac{1}{k-1} > \frac{1}{\hat{n}+k-1}$, $k = 2, 3, \dots, l+1$, то последовательность $S(1), S(2), \dots$ монотонно убывает и стремится к нулю (так как $S(k) = \sum_{i=k}^{\hat{n}+k-1} \frac{1}{i} \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$).

При $\ln \frac{1}{1-d} \geq \psi(\hat{n}+1) - \psi(1)$ $\hat{n} = \hat{n}$, в противном случае $\hat{n} = \hat{n} + l - 1$, как только

$$\left| \ln \frac{1}{1-d} - \psi(\hat{n}+1) + \psi(1) \right| < \left| \ln \frac{1}{1-d} - \psi(\hat{n}+l+1) + \psi(l+1) \right|.$$

Поскольку при практически проводимых расчетах нахождение оценки \hat{n} числа n объектов в группе осуществляется по выборочному значению \hat{n} (полученному по выборке ограниченного объема – при конечном числе позиций в МПРЛС), то для повышения информативности оценки \hat{n} необходимо найти нижнюю $\hat{n}_н$ и верхнюю $\hat{n}_в$ границы ее доверитель-

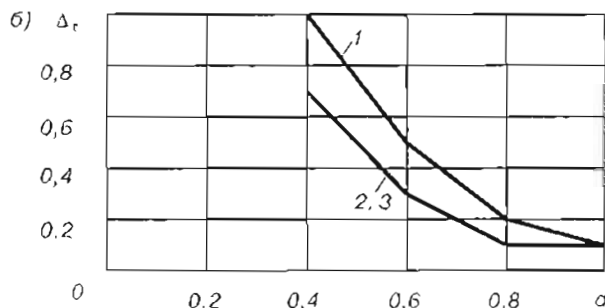
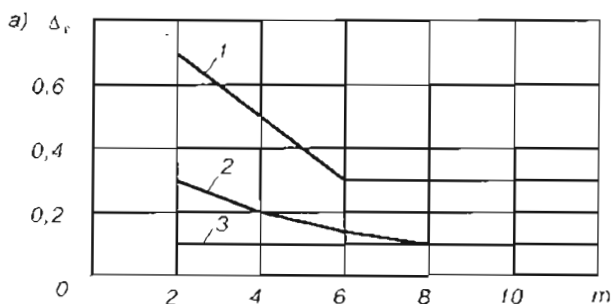


Рис. 1. Относительная величина интервальной оценки ($\epsilon = 0,9$) числа объектов в группе в зависимости от числа позиций в МПРЛС (а) и вероятности правильного обнаружения объекта (б)

ного интервала. Совокупность величин $\hat{n}_н$, \hat{n} , $\hat{n}_в$ позволяет судить о точности оценки \hat{n} , получаемой по данному выборочному значению \hat{n} . Точность оценки \hat{n} (нижняя $\hat{n}_н$ и верхняя $\hat{n}_в$ границы доверительного интервала оценки \hat{n}) исследовалась методом статистического моделирования на ЭВМ.

Методика и результаты статистического моделирования на ЭВМ

В состав фиксированных исходных данных для моделирования входили число объектов в группе ($n = 10$), вероятность ложной тревоги ($f = 10^{-3}$), число разрешаемых элементов в зоне обнаружения ($Q = 400$). Варьировались следующие величины: число позиций в МПРЛС (m – от 2 до 12) и вероятность правильного обнаружения объекта (d – от 0,4 до 1,0).

В каждом испытании в соответствии с введенными исходными данными с помощью датчика случайных чисел на позициях МПРЛС имитировались случайные процессы обнаружения объектов и появления на сформированных РЛИ дополнительных к радиолокационным отметкам от объектов ложных точек, обусловленных ненулевой вероятностью ложной тревоги. Одновременно с формированием отдельных РЛИ осуществлялось накопление статистики, необходимой для вычисления выборочных по числу позиций в МПРЛС среднего числа отметок

$$\bar{\eta} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \eta_i \text{ и дисперсии числа отметок}$$

$$\hat{\sigma}_{\eta}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \eta_i^2 - \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{i=1}^m \eta_i \right)^2 \text{ на РЛИ, после чего}$$

вычислялась оценка \hat{d} вероятности правильного обнаружения объекта:

$$\hat{d} = 1 - \frac{\hat{\sigma}_{\eta}^2 - Qf(1-f)}{\bar{\eta} - Qf}$$

Далее, в соответствии с выражением

$$\hat{n} = \left[\frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \eta_i - mQf \right) \right] + 1$$

где $[f]$ – целая часть f , рассчитывалось среднее число объектов, обнаруженных на одной позиции

МПРЛС, и методом последовательных приближений решалось уравнение (3) относительно искомой оценки \hat{n} числа объектов в группе.

На заключительном этапе моделирования после выполнения заданного числа испытаний рассчитывались значения надежности ϵ интервальной оценки (коэффициента доверия для интервальной оценки) для заданных значений относительной величины Δ_{ϵ} интервальной оценки с коэффициентом доверия ϵ

$$\Delta_{\epsilon} = \frac{\hat{n}_в - \hat{n}_н}{\hat{n}}$$

$$\text{Вер.} \left\{ \hat{n}_н \leq n \leq \hat{n}_в \right\} = \epsilon; \quad \epsilon = 1 - \epsilon_н - \epsilon_в,$$

где $1 - \epsilon_н$ и $1 - \epsilon_в$ – коэффициенты доверия соответственно для нижней $\hat{n}_н$ и верхней $\hat{n}_в$ границ доверительного интервала оценки \hat{n} .

Результаты расчетов представлены графиками зависимости Δ_{ϵ} при $\epsilon = 0,9$ от числа m позиций в МПРЛС (рис. 1, а) и вероятности d правильного обнаружения объекта (рис. 1, б). На рис. 1, а кривая 1 построена для значения вероятности правильного обнаружения объекта $d = 0,6$; кривая 2 – для значения $d = 0,8$; кривая 3 – для значения $d = 1,0$. На рис. 1, б кривая 1 рассчитана при числе позиций в МПРЛС $m = 4$; кривая 2 – при $m = 8$; кривая 3 – при $m = 12$.

Выводы

1. На этапе совместной обработки информации об обнаруженных объектах (при объединении в МПРЛС информации на уровне единичных замеров, полученных от входящих в МПРЛС радиолокационных станций) преодолеть трудности комбинаторного характера, возникающие при отождествлении радиолокационных изображений точечной конфигурации (группы объектов), позволит оценка числа объектов в группе.

2. Интервальная оценка (с коэффициентом доверия 0,9) числа объектов в группе в рассмотренных условиях моделирования на ЭВМ (числе объектов в группе, равном 10; числе позиций в МПРЛС – от 2 до 12; вероятности ложной тревоги, равной 10^{-3} ;

числе разрешаемых элементов в зоне обнаружения, равном 400) имеет следующие характеристики:

– потенциальная точность оценки (достигаемая в предположении, что обнаружители работают без ошибок второго рода – с единичной вероятностью правильного) не зависит от числа позиций в МПРЛС и составляет 10 %,

– для обнаружителей с неидеальными характеристиками потенциальная точность оценки может быть достигнута за счет увеличения числа позиций в МПРЛС; так, при вероятности правильного обнаружения объекта, равной 0,8, потенциальная точность оценки достигается при числе позиций в МПРЛС не менее 8;

– характер зависимости точности оценки от вероятности правильного обнаружения объекта одинаковый для любого числа позиций в МПРЛС из диапазона от 8 до 12.

Литература

1. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений – М.: Наука, 1971. – 1108 с.

ЖУРНАЛ

«ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

И. О. Жаринов, О. О. Жаринов

Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2005.

Учебное пособие содержит сведения о теоретических предпосылках, методах и способах организации и практического использования блоков и отдельных устройств современного бортового авиационного оборудования на плоских жидкокристаллических панелях. Рассмотрены вопросы реализации аппаратных средств индикационного оборудования современных летательных аппаратов. Действие некоторых узлов рассмотрено на уровне принципиальных схем.

Пособие предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по широкому кругу специальностей, связанных с разработкой и эксплуатацией авиационных комплексов, приборов и устройств, а также сопутствующих технологий и материалов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу:
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., д. 67, ГУАП,
Фундаментальная библиотека
Телефон (812) 110-66-42
Факс: (812) 313-70-18
E-mail: ius@aanel.ru



УДК 623 98

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ ПО ПРЯМЫМ И КОСВЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

А. П. Лось,

доктор техн. наук, зам. начальника управления
Федеральное государственное унитарное предприятие «Первый ЦНИИ
Министерства обороны России»

Е. А. Войнов,

канд. техн. наук, зам. директора научно-производственного комплекса
Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Предложены новые алгоритмы распознавания, работающие в условиях ограничений на время наблюдения и при создании помех. В основе разработанного подхода использован последовательный принцип обработки информации, включающий комплексную систему фильтрации и классификации сигналов по мере их поступления. Особенностью предлагаемого подхода является использование динамического потраекторного описания сигнала на основе дифференциальных уравнений и оптимальных правил остановки, позволяющих минимизировать сумму вероятностей ошибок классификации. Приведены результаты моделирования при классификации сигналов по ширине спектра в условиях шумовой помехи.

New recognition algorithms operating in conditions of constraint on the observation period and under jamming are proposed. Sequential principle of information processing including the combined system of filtration and classification of signals as they enter is used as the developed approach basis. The proposed approach peculiarity is the use of dynamic trajectorywise description of a signal based on differential equations and optimal rules of stopping allowing to minimize the sum of probabilities of classification errors. Results of simulation on spectrum width classification of signals in conditions of noise interference are listed.

В современных условиях развития средств радиоэлектронного наблюдения и средств противодействия основными показателями, характеризующими эффективность бортовых средств космических аппаратов, самолетов, ракет, являются помехозащищенность, дальность обнаружения, точность определения координат и возможность классификации объектов. В настоящее время глубоко исследованы и созданы образцы информационно-измерительных бортовых комплексов, во многом решающие проблемы обнаружения, определения координат объектов в условиях РЭП противника. Вопросы классификации объектов для бортовых средств наблюдения получили меньшее развитие вследствие ряда технических трудностей, связанных с малой апертурой антенн бортовых комплексов и требованиями больших дальностей обнаружения. В этих условиях проблема классификации объектов может быть решена только на основе комплексного использования всех достижений в области техники радиоэлектронного обнаружения объектов, методов алгоритмической обработки сиг-

налов и математической теории распознавания образов.

Авторами предлагаются пути разработки новых алгоритмов распознавания (классификации) объектов, учитывающих небольшое время наблюдения за объектом, а также возможность создания мощных помех, что не позволяет осуществлять точные измерения. В условиях РЭП противника байесовы алгоритмы распознавания могут быть чрезвычайно сложными вследствие того, что вероятностные распределения значений измеряемых параметров и мгновенные значения помехи могут быть не гауссовскими. Это обстоятельство обосновывает необходимость дальнейших исследований, направленных на поиск простых и высокоэффективных процедур распознавания. Достаточно общий и конкретный способ решения указанной задачи связан с использованием принципа асимптотической оптимальности, приведенного в работах Б.Р. Левина, П.А. Бакута, В. Г. Релина.

При использовании этого принципа возможен подход, основанный на совместном использовании

концепции последовательных измерений. Таким образом возникает задача синтеза системы распознавания, включающая комплексную систему фильтрации, многоканальной обработки измерительной информации и систему классификации. Эта система характеризуется следующими признаками:

- размерность вектора результатов измерений больше размеров вектора входных сигналов;
- наличие функциональной или корреляционной связи между измеряемыми сигналами;
- единый критерий оптимальности или общие ограничения при синтезе системы многомерной фильтрации;
- многоальтернативность решения задачи классификации.

Особенностью предлагаемого подхода является использование не корреляционно-спектрального подхода, а динамического потраекторного описания сигнала, что обеспечивает повышенную помехоустойчивость системы. Потраекторное представление случайных процессов, осуществляемое с помощью дифференциальных уравнений, позволяет использовать теорию оптимальных правил остановки для нахождения алгоритмов, минимизирующих средние потери. При этом учитывается, что в подавляющем большинстве задач одной из основных составляющих потерь является время, затрачиваемое на принятие решения, при котором минимизируется сумма вероятности ошибок классификации.

На практике оцениванию параметров, как правило, предшествует обнаружение сигнала и далее его классификация. Учитывая определенную общность этих процессов при использовании математического аппарата уравнений фильтрации, предлагается единообразно составить алгоритмы для решения этих задач. В основу этих алгоритмов положена теория нелинейной фильтрации, представленная работами Р.Ш. Липцера и А.Н. Ширяева [1]. Исходя из этого, предполагались марковские и гауссовские процессы в оцениваемом параметре. Для этого случая можно составить замкнутые системы уравнения, позволяющие по реализации наблюдаемой компоненты η_t построить функционал математического ожидания $m_t(\lambda)$. При оценивании параметра сигнала скрытого, в шуме, рассматривался трехмерный случайный процесс $[\lambda, \theta(t|\lambda), \eta_t]$. Для решения этой задачи необходима фильтрация процесса $q(t|l)$ и оценивание параметра λ , имеющее любое распределение. Предполагалось, что параметр λ является случайной величиной, принимающей конечное число n неотрицательных значений, соответственно $m_t(\lambda)$ представляется суммой:

$$m_t(\lambda) = \sum_{i=1}^n \lambda_i P_i(\lambda_i)$$

(где $P_i(\lambda_i)$ – вероятность появления λ_i , значения параметра λ ; $P_i(\lambda_i) = P_i(\lambda_i) / \eta_i^2$) – вычисляется в результате решения нелинейных дифференциальных уравнений [2]. В этих условиях проводятся косвенные дискретные измерения, так как сигнал скрыт и искажен шумом.

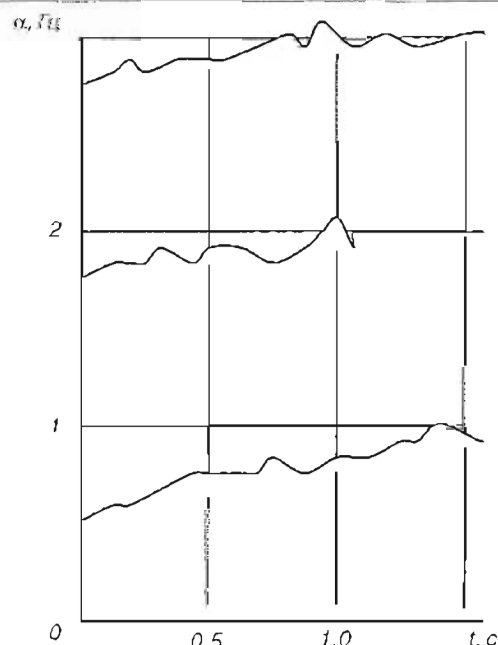
С использованием данного подхода была решена задача оценки ширины спектра (α) сигнала с корреляционной функцией $K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$. Дифференциальные уравнения для наблюдаемой компоненты η_t , ненаблюдаемой θ_t и помехи U_{1q} имеют вид:

$$\begin{aligned} d\theta_t &= -\alpha\theta_t dt + \sigma^2 \sqrt{c_1} d\omega_1; \\ dU_t &= -\beta U_t dt + \beta \sqrt{c_2} d\omega_2(t); \\ d\eta_q(t) &= \theta_t + U_t, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ^2 – мощность сигнала, c_1, c_2 – спектральная плотность мощности сигнала и помехи соответственно, ω_1, ω_2 – винеровские процессы; β – ширина спектра помехи.

Оценивание параметра α осуществлялось на основе обобщенного уравнения фильтрации Калмана-Бьюси. Результаты моделирования приведены на рис. 1 для дискретных значений $\alpha_i, i = 1, \dots, 10$, распределенных по закону Стьюдента с M , равным 10, 20 и 30 Гц, и СКО, равным 5 Гц. В качестве помехи принимался окрашенный шум с $\beta = 50$ Гц, $c_1 = c_2 = 1$. Система уравнений (1) решалась на основе использования первой итерации Пикара. Как видно из этой системы, основой служит непрерывная модель динамики процессов. Временная дискретизация здесь используется для решения уравнений на ЦВМ. Однако можно ориентироваться сразу на дискретную модель наблюдений [1] и алгоритм оценивания составлять сразу в дискретной форме – в форме рекуррентных соотношений.

По аналогии с этим примером были составлены и решены дифференциальные уравнения для оценивания длительности импульса, его амплитуды. Учитывая последовательный характер вычисления оценки параметра, разработана процедура классификации сигналов. В основу предлагаемого подхо-



■ Рис. 1. Результаты моделирования для дискретных значений α

да положены решающие правила и алгоритмы об оптимальной остановке процесса, представляемого апостериорной вероятностью $P_j(t)$ принадлежности сигнала к j -му классу, $j=1, 2$ [1]. С использованием байесовского подхода решение о принадлежности объекта к какому-либо классу принималось на основе достижения $P_j(t)$ граничных значений. При этом последовательное во времени вычисление значений $P_j(t)$ осуществлялось исходя из дифференциального уравнения для $P_j(t)$, в которое входит значение отношения правдоподобия

$$\varphi_1 = dP^{(1)}(\eta_0^t) / dP^{(0)}(\eta_0^t)$$

в виде производной меры процесса η_0^t , содержащего сигнал, по мере процесса, не содержащего сигнала.

В рассматриваемом случае, при наблюдении сигнала в шумах, можно вместо недоступного непосредственному наблюдению параметра использовать его оценку. Понятно, что стохастическая природа сигнала требует затрат времени на вычисление оценки параметра сигнала, и чем больше можно затратить времени, тем ближе будет оценка к значению самого параметра. Возникает процедура последовательной классификации.

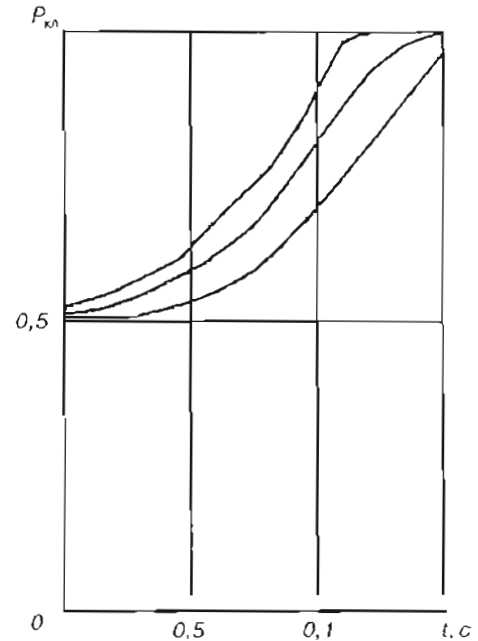
В отличие от рассматриваемого случая двухальтернативной классификации [1] здесь решается модификационная задача многоальтернативной классификации зашумленного сигнала.

Уравнение классификации для $P_j(t)$ выведено для случая, когда параметр λ , по которому проводится классификация, принимает одно из λ_i значений и когда параметр λ принадлежит к одному из F_m распределений, $M = 1, \dots, n$, где M – число классов. Дифференциальное уравнение для $P_j(t)$ получено на основе байесова подхода и имеет громоздкий вид даже для трех классов, поэтому не приводится. В основе вывода этих дифференциальных уравнений лежало уравнение для $P_j(t)$, имеющее вид:

$$P_j(t) = \frac{P_j \varphi_t}{P_0 \left[1 + \sum_{j=1}^M (P_j / P_0) \varphi_t \right]}$$

где P_j – априорные вероятности появления объектов j -го класса, P_0 – вероятность отнесения объекта ни к одному из классов; M – общее число классов.

С использованием предлагаемого подхода было проведено статистическое моделирование процесса классификации объектов для трех классов по параметру ширины спектра межпериодных флюктуа-



■ Рис. 2. Результаты статистического моделирования процесса классификации

ций (α). Результаты моделирования приведены на рис. 2 в виде зависимости вероятности правильной классификации $P_{кп}$ от времени t .

Как видно из графиков на рис. 1, 2, за время, равное 1с производится классификация процессов с вероятностью $P_{кп} = 0,7 \div 0,9$.

Выводы

Предложенный подход к оцениванию и классификации процессов на основе потраекторного описания случайных процессов в виде стохастических дифференциальных уравнений с использованием теории оптимальных правил остановки позволяет получить дополнительный выигрыш во времени сходимости процессов в условиях помех. Количественные оценки предлагаемых методов и подходов подтверждены результатами цифрового моделирования.

Литература

1. Липцер Р. Ш., Ширяев А. Н. Статистика случайных процессов. – М.: Наука, 1974. – 696 с.
2. Розов А. К. Нелинейная фильтрация. – СПб.: Политехника, 1994. – 172 с.

УДК 621.396.67

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИМ ПЕЛЕНГАТОРОМ

С. Н. Шаров,

доктор техн. наук, начальник научно-аналитического отдела
Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Приводится описание программы исследований точности измерения параметров движения носителя источника радиоизлучения при помощи радиопеленгатора, расположенного на маневрирующем носителе. Рассмотрены различные алгоритмы обработки результатов измерений текущего пеленга и даны рекомендации по их использованию в различных тактических ситуациях.

The description of the program of investigations of accuracy of measurement of parameters of moving of a bearer of radiation source by means of a direction finder onboard a maneuvering bearer is listed. Different algorithms of processing of the current bearing measurement results are examined and recommendations on their use in different tactical situations are made.

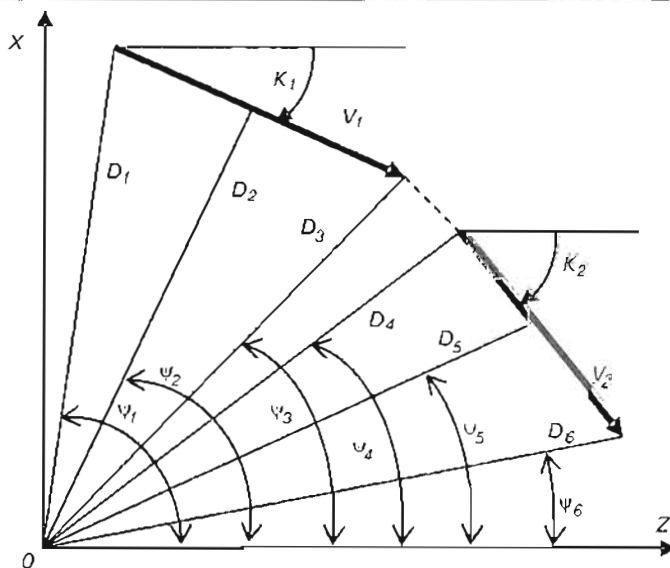
Пассивные средства находят широкое применение в системах корабельной навигации, охранных системах и системах целеуказания ракетного оружия (РО), так как обладают наибольшей дальностью обнаружения цели, имеющей источник радиоизлучения, и скрытностью своей работы [1, 2]. Основным их недостатком по сравнению с активными средствами является невозможность точного определения дистанции до цели. Точность измерения дистанции до цели, достаточная для применения РО по подвижным целям, достигается использованием двух или более пеленгаторов, разнесенных друг от друга на известное расстояние, соизмеримое с дистанцией до цели. Это существенно снижает возможности автономной работы одного корабля-носителя РО по подвижным целям. Выходом из этого положения может служить то обстоятельство, что пеленгатор целеуказания может наблюдать источник излучения некоторое время (иметь возможность наблюдать изменяющийся пеленг) и при этом совершать маневр, изменяя свой курс.

Для оценки точности измерения дистанции и курса движения цели, имеющей источник излучения, при помощи одного пеленгатора, находящегося на подвижном носителе, предлагается разработанная в среде *Matlab* программа моделирования.

Метод измерения параметров

Идея метода измерения параметров движения источника излучения поясняется на рис. 1.

Предположим, что на некотором интервале времени источник излучений движется прямолинейно с постоянной скоростью V_c и носитель пеленгатора прямолинейно со скоростью $V_{н1}$. Их относительная скорость $V_1 = V_c + V_{н1}$ с курсовым углом K_1 . (Здесь и далее в тексте жирным шрифтом выделяются векторные величины, а обычным – скалярные). На этом интервале времени делается три измерения пеленга – ψ_1, ψ_2, ψ_3 через интервалы времени Δt_{2-1} и Δt_{3-2} .



■ Рис. 1. Метод измерения параметров движения источника излучения

После этого носитель пеленгатора изменяет свой курс, например, на противоположный, двигаясь далее снова прямолинейно с постоянной скоростью V_{H2} и снова делает три измерения пеленга – ψ_4, ψ_5, ψ_6 через интервалы времени Δt_{5-4} и Δt_{6-5} . Теперь относительная скорость движения источника излучения и пеленгатора $V_2 = V_{\text{ц}} + V_{H2}$ с курсовым углом K_2 .

Таким образом, при принятых допущениях имеем шесть замеров пеленга, известные скорости носителя V_{H1} и V_{H2} , соответственно их модули и курсовые углы K_{H1} и K_{H2} . Это дает принципиальную возможность определить дистанции $D_1 - D_6$ до источника излучения, скорость $V_{\text{ц}}$ и курсовой угол $K_{\text{ц}}$ движения источника излучения.

Одна серия замеров позволит составить четыре уравнения с пятью неизвестными параметрами ($D_1, K_1, V_1, K_{\text{ц}}, V_{\text{ц}}$), например:

$$\begin{cases} \text{tg } \psi_2 = (D_1 \sin \psi_1 - V_1 \Delta t_{2-1} \sin K_1) / (D_1 \cos \psi_1 - V_1 \Delta t_{2-1} \cos K_1); \\ \text{tg } \psi_3 = (D_1 \sin \psi_1 - V_1 \Delta t_{3-1} \sin K_1) / (D_1 \cos \psi_1 - V_1 \Delta t_{3-1} \cos K_1); \\ V_1 \sin K_1 = V_{\text{ц}} \sin K_{\text{ц}} + V_{H1} \sin K_{H1}; \\ V_1 \cos K_1 = V_{\text{ц}} \cos K_{\text{ц}} + V_{H1} \cos K_{H1} \end{cases} \quad (1)$$

Необходима вторая серия измерений, для которой справедливы аналогичные соотношения

$$\begin{cases} \text{tg } \psi_5 = (D_6 \sin \psi_6 - V_2 \Delta t_{6-5} \sin K_2) / (D_6 \cos \psi_6 - V_2 \Delta t_{6-5} \cos K_2); \\ \text{tg } \psi_4 = (D_6 \sin \psi_6 - V_2 \Delta t_{6-4} \sin K_2) / (D_6 \cos \psi_6 - V_2 \Delta t_{6-4} \cos K_2); \\ V_2 \sin K_2 = V_{\text{ц}} \sin K_{\text{ц}} + V_{H2} \sin K_{H2}; \\ V_2 \cos K_2 = V_{\text{ц}} \cos K_{\text{ц}} + V_{H2} \cos K_{H2}. \end{cases} \quad (2)$$

Решение уравнений (1) и (2) однозначно определяет искомые значения параметров носителя источника излучения – цели (дистанцию до цели в момент последнего измерения пеленга D_6 , курсовой угол $K_{\text{ц}}$ и скорость $V_{\text{ц}}$).

Исследование чувствительности решений уравнений (1) и (2) показывают, что точность определения искомых параметров существенно зависит от параметров измерителя (точность измерения пеленга), ракурса движения цели и пеленгатора (относительное изменение пеленга), их скоростей и т. д. Надежды на получение хороших результатов по точности дает возможность получения значительного числа измерений, однако это связано с увеличением времени наблюдения, с одной стороны (что может оказаться недопустимым), и получением приращеня пеленга существенно меньше, чем ошибка пеленгования, что также внушает опасение на получение приемлемой точности искомых параметров

Интерфейс программы

Основное поле программы для пользователя оформлено в виде пульта стенда моделирования, показанного на рис. 2. На пульте в верхней части имеется шесть кнопок для ввода условий исследований. Надпись на каждой кнопке соответствует ее назначению.



Рис. 2. Пульт стенда моделирования

При нажатии на кнопку раскрываются соответствующие окна, примеры которых показаны на рис. 3, а–д. При нажатии первой кнопки «Параметры носителя» (рис. 3, а) открывается окно ввода параметров движения носителя пеленгатора или пассивного радиопеленгационного канала (ПРК). В этом окне вводятся начальные координаты носителя X_0, Y_0 , курсовой угол для первой и второй серии измерений пеленга, параметры маневра (радиус и угловая скорость) при изменении курса, время, интервал и число измерений для первой и второй серии. После установки значений нажатием кнопки «Ввести» установленные 15 параметров запоминаются вектором Q_N .

Погрешности пеленгования источника излучения вводятся при помощи окна (рис. 3, б), открываемого кнопкой «Неточности пеленгации» (рис. 3, б). В этом окне имеется возможность ввести значение систематической погрешности для всех измерений, среднеквадратическое значение случайной ошибки (СКО), распределенной по нормальному закону, коэффициент корреляции ошибки измерений пеленга, амплитуду, частоту и фазу периодической составляющей погрешности.

Нажатием кнопки «Ввести» этого окна установленные шесть параметров запоминаются вектором Q_E .

При помощи кнопки «Параметры движения цели» (окно, представленное на рис. 3, в) устанавливаются начальные координаты X_0, Y_0 цели в момент первого измерения пеленга, курс $K_{\text{ц}}$ и скорость $V_{\text{ц}}$ цели. Командой «Ввести» формируется вектор Q_C параметров цели. В программе имеется возможность исследовать различные алгоритмы обработки результатов измерений, выбрать которые можно при помощи окна (рис. 3, г), раскрываемого кнопкой «Алгоритмы обработки замеров». Здесь знаком «v» необходимо отметить один из предлагаемых алгоритмов;

а) 1. Исходные данные носителя ПРК

ПАРАМЕТРЫ НОСИТЕЛЯ

Начальное положение $X_0 = 0$ м $Y_0 = 0$ м

Курсовой угол и скорость $K_1 = -10$ град $V_1 = 50$ м/с

Время и интервал измерений 1 сеанса $T_1 = 100$ с $d_1 = 5$ с

Число измерений на первом курсе $N_1 = 100$ штук

Время, радиус, угол, скорость маневра $T_m = 100$ с $R_m = 500$ м $K_m = 1.5$ град/с

Курсовой угол и скорость 2 сеанса $V_2 = 50$ м/с $K_2 = 170$ град

Время наблюдения на втором курсе $T_2 = 100$ с $d_2 = 5$ с

Число измерений на втором курсе $N_2 = 100$ штук

Ввести

б) УЧЁТ НЕТОЧНОСТИ ПЕЛЕНГАЦИИ

Систематическая погр. $E_s = 0.5$ град

Случайная погр. $E_p = 0.1$ град

Коэффициент корреляции $K_r = 0.0$

Периодическая погр. Амплитуда 0.001 град

Частота колебаний $F_p = 0.1$ Гц

Фаза $\text{faza} = 0.001$ град

Ввести

в) 2. Параметры цели

ВВОД ПАРАМЕТРОВ ЦЕЛИ

Начальное положение цели относительно измерителя $X_{c0} = 20000$ м $Y_{c0} = 2000$ м

Курс цели $K_c = -30$ град

Скорость цели $V_c = 200$ м/с

Ввести

г) АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Без фильтрации

Линейная аппроксимация

Квадратичная аппроксимация

Кубическая аппроксимация

Усреднение на скользящем интервале

Усреднение на скользящем интервале с доп. обработкой

Нелинейный фильтр 2-го порядка

Нелинейный фильтр 4-ого порядка

N - число измерений пеленга

Число измерений $(2 \cdot N/3)$ для усреднения $N_{\Phi} = 21$ штук

Число измерений $(2 \cdot N/3)$ для усреднения $N_{\Phi} = 21$ штук

Постоянная интегрирования $(1 - N/10)$ $N_{\Phi} = 10$ штук

Постоянная интегрирования $(1 - N/10)$ $N_{\Phi} = 5$ штук

Ввести

д) Представление результатов моделирования

Число испытаний $(1 - 1000)$ $st = 1$ шт

Вывод графиков ошибок пеленгации 1 серия измерений (измеренных и обработанных) $1(0)$ 2 серия измерений

Вывод (1) измеренных параметров движения цели и их СКО

$D_{ц} = 6$ км $K_{ц} = 0$ град $V_{ц} = 0$ м/с

$SKOD_{ц} = 1$ % $SKOK_{ц} = 1$ % $SKOV_{ц} = 1$ %

$SKUD_{ц} = 0$ км $SKOK_{ц} = 0$ град $SKOV_{ц} = 0$ м/с

Вывод (1) статистик (при $st=10$) ошибок измерения параметров цели

$\Delta D_{ц} = 0$ $\Delta K_{ц} = 0$ $\Delta V_{ц} = 0$

Ввести

Рис. 3. Примеры диалоговых окон: а – ввода параметров движения носителя пеленгатора или ПРК; б – ввода погрешностей пеленгования источника излучения; в – ввода начальных координат, курса и скорости цели; г – выбора алгоритмов обработки результатов измерений; д – выбора вывода и формы представления результатов

- без фильтрации измеренных значений пеленга;
- линейная аппроксимация;
- квадратичная аппроксимация;
- кубическая аппроксимация;
- усреднение на скользящем интервале N_{Φ} ;
- усреднение на скользящем интервале N_{Φ} с дополнительной обработкой;

- нелинейная фильтрация с линейной частью 2-го порядка и постоянной N_{Φ} ;
 - нелинейная фильтрация 4-го порядка с характерным параметром N_{Φ} .
- Аналогично предыдущему выбранный алгоритм и значение его параметра N_{Φ} формируют вектор Q_d . Вывод и форма представления результатов выбираются при помощи следующего окна, раскрыва-

емого кнопкой «Представление результатов моделирования» (рис. 3, д). Здесь оператором задается число статистических испытаний, необходимость вывода графика введенных ошибок измерения и результатов их обработки для первой и второй серий измерений. В качестве основных результатов исследований обеспечивается вывод СКО в процентах и физических величинах для дистанции, курса и скорости движения цели. Имеется возможность вывода гистограмм этих ошибок.

По команде «Диспетчер стенда» на графическое поле управляющего окна (см. рис. 2) в координатах X, Y выводится график движения носителя и цели с заданными ранее параметрами. На этом графике также указываются отдельные пеленги или зоны пеленгации источника излучения первого и второго сеансов. Это позволяет наглядно представить тактическую ситуацию и при необходимости изменить исходные данные маневра цели и носителя.

Подготовка исходных данных для моделирования заключается в следующем. Сначала определяются истинные значения пеленгов для заданных параметров движения цели и носителя. Затем формируется массив значений «реальных» измерений с учетом заданных ошибок измерения. Эти операции являются предварительными и проводятся для всех возможных вариантов обработки результатов измерений. Далее по ним при помощи одного из перечисленных способов необходимо найти значение параметров движения цели и оценить ошибки их определения относительно истинных значений. Рассмотрим кратко эти способы.

Обработка результатов измерений без фильтрации

Этот способ предполагает проведение вычислений со значениями «реальных» измерений без их предварительной обработки. Если погрешность измерения пеленга превосходит изменение пеленга от одного измерения к другому, то никаких правдоподобных результатов в определении параметров движения цели ожидать не следует. Однако при большом количестве измерений N (например, $N \geq 100$) в каждой серии число троек пеленгов, по которым решается задача, определяется числом C возможных сочетаний из N по 3. Например, для $N = 100$ число независимых решений уравнений (1) или (2) составит $C = 161700$. Таким образом, мы имеем достаточную выборку для определения средних значений искомых параметров.

Отметим особенности уравнений (1) и (2), которые справедливы для любых трех измерений каждой серии.

Значение относительного курса K_1 определяется как корень трансцендентного уравнения.

$$\frac{t_{2-1} \cdot \sin(\psi_2 - K_1)}{t_{3-1} \cdot \sin(\psi_3 - K_1)} - \frac{\sin(\psi_2 - \psi_1)}{\sin(\psi_3 - \psi_1)} = 0 \quad (3)$$

Аналогичным уравнением определяется значение K_2 по пеленгам второй серии. При числе измерений N число уравнений, из которых можно найти значение K_1 и K_2 , определяется числом C возможных сочетаний из N по 3.

Среднее значение относительного курса соответственно определяется как

$$K_1 = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C K_{1i}; \quad K_2 = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C K_{2i}. \quad (4)$$

В формулах (4) число N (соответственно C) измерений пеленга принято одинаковым для обеих серий измерений.

После определения значений K_1 и K_2 определяется значение измеренного курсового угла цели K_u :

$$\frac{V_{u2} \cdot \sin(K_{u2} - K_2)}{V_{u1} \cdot \sin(K_{u1} - K_1)} - \frac{\sin(K_2 - K_u)}{\sin(K_1 - K_u)} = 0. \quad (5)$$

Далее из уравнения (2) определим скорость цели V_u :

$$V_u = V_{u2} \frac{\sin(K_{u2} - K_2)}{\sin(K_2 - K_u)} \quad (6)$$

и относительную скорость V_2 :

$$V_2 = V_{u2} \frac{\sin(K_u - K_2)}{\sin(K_u - K_{u2})}. \quad (7)$$

Обозначим D_k искомую дистанцию до цели на последнем пеленге. Каждая пара пеленгов последней серии (один пеленг ψ_i и последний пеленг ψ_k) позволяют определить значение последней дистанции D_{ki} до цели:

$$D_{ki} = V_2 \Delta t_{i-k} \frac{\sin(K_2 - \psi_i)}{\sin(\psi_i - \psi_k)}, \quad (8)$$

где Δt_{i-k} – интервал времени между измерением ψ_i и ψ_k пеленгов.

За измеренную величину принимается среднее значение искомой дистанции D_k :

$$D_k = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} D_{ki}. \quad (9)$$

Приведенные уравнения (3) – (9) определяют значения параметров движения цели относительно пеленгатора для каждого опыта с заданными статистическими характеристиками погрешностей измерения.

Для получения корректной статистической оценки необходимо значительное число статистических испытаний. Описываемая программа позволяет проводить необходимое задаваемое число испытаний и по их результатам определять статистические характеристики погрешностей определения параметров (относительные и абсолютные значения ошибок и их гистограммы). Необходимые для этого соотношения известны и в настоящей статье не приводятся. Результаты вычислений выводятся в рабо-

чее окно *Matlab*, а гистограммы – в графические окна.

Предварительная обработка результатов путем аппроксимации измеренных значений пеленга

Снизить влияние погрешности измерения пеленга на ошибки определения параметров движения цели можно различными способами. Наиболее распространенный способ – использование гипотезы плавного изменения пеленга по линейному, квадратичному или более сложному, но известному закону. В программе предусмотрена возможность исследования ошибок определения параметров движения цели для трех видов аппроксимации закона изменения пеленга: полиномом первой, второй и третьей степени.

При кубической аппроксимации для каждой серии измерений пеленга накладывается условие

$$\psi_{ai} = a_0 + a_1i + a_2i^2 + a_3i^3, \quad (10)$$

где ψ_{ai} – аппроксимированное значение i -го пеленга в серии измерений; a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты полинома аппроксимации

Для линейной аппроксимации используется полином первой степени ($a_2 = 0$ и $a_3 = 0$), а для квадратичной – второй степени ($a_3 = 0$).

Подбор коэффициентов аппроксимации проводится по методу наименьших квадратов. В среде *Matlab* это реализуется различными способами. В программе для кубической аппроксимации этот метод реализован оператором поиска минимума

$$M = \text{fminsearch}('f_{a3}', [a_0, a_1, a_2, a_3]),$$

где $f = \sum_{i=1}^N (\psi_i - \psi_{ai})^2$ – минимизируемая функция; a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты полинома начального приближения, значения которых следующие:

$$a_0 = \psi_1; \quad a_1 = (\psi_N - \psi_1)/N; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = 0.$$

При линейной и квадратичной аппроксимации используются соответственно функции f_{a1} и f_{a2} полиномов первого и второго порядка.

После аппроксимации первой и второй серии пеленгов значения ψ_i заменяются на ψ_{ai} . Далее определение параметров движения цели аналогично описанному в предыдущем разделе.

Усреднение на скользящем интервале

В ряде случаев изменение пеленга происходит значительно более медленно, чем флуктуация ошибки измерения. Здесь следует усреднять быстрые изменения на некотором интервале времени. В устройствах обнаружения сигнала на фоне шума и других измерительных устройствах распространен способ усреднения на скользящем интервале. В

программе этот способ реализован следующим образом.

Оператор в окне «Алгоритмы обработки результатов измерений» выбирает значение интервала усреднения $T_\Phi = N_\Phi$ – число измерений, по которым проводится усреднение. Желательно, чтобы это число было нечетным, в противном случае интервал усреднения будет на единицу больше.

Отфильтрованные показания пеленгов $\psi_{\Phi i}$ определяются следующим образом.

$$\psi_{\Phi i} = \frac{1}{T_\Phi} \sum_{j=i-T_{\Phi 2}}^{j=i+T_{\Phi 2}} \psi_j, \quad (11)$$

где $T_{\Phi 2} = \text{Fix}(T_\Phi/2)$

Число пеленгов, участвующих в определении параметров движения цели (3)–(9), сокращается и становится равным $(N - T_\Phi + 1)$.

Отметим, что для каждого набора исходных данных можно подобрать значение T_Φ , при котором ошибки определения параметров движения цели будут минимальными.

Как показали результаты моделирования, существенный вклад в погрешности определения параметров цели вносят отдельные выбросы, которые начинают проявляться при определении относительных курсовых углов, определяемых по формуле (3).

Дополнительная обработка результатов измерений в этом случае заключается в корректировке значений K_1 и K_2 , вычисляемых по формулам (4) путем исключения тех значений K_1 и K_2 , которые отклонились от среднего значения на величину более чем 3σ . В программе предусмотрена возможность просмотра гистограммы значений K_1 и K_2 до и после корректировки, а также возможность изменения величины порога исключения.

Нелинейная фильтрация

В практике обработки сигналов широкое применение находят линейные фильтры, теория которых хорошо разработана. Если спектр флуктуаций помехи и изменения сигнала отличаются друг от друга, то интегрирующие, апериодические и полосовые фильтры являются оптимальными и дают наилучший результат. Однако для координатных измерений линейные фильтры не используются, так как дают погрешность, обусловленную фазовым сдвигом.

В работе [4] предложен нелинейный фильтр, основанный на принципе нелинейного корректирующего звена или системы с переменной структурой. Нелинейный дискретный фильтр имеет амплитудную характеристику апериодического звена второго порядка и фазовую характеристику идеального звена. Такой фильтр практически не дает фазового сдвига за счет последовательного интегрирования в прямом и обратном направлении.

В нелинейном фильтре 2-го порядка реализована предварительная обработка значений измерен-

ных пленгов в соответствии с дискретным аналогом аperiodического звена:

$$\begin{cases} \psi_{\Phi}(j+1) = \psi_{\Phi}(j) + (\psi_{\Phi}(j+1) - \psi_{\Phi}(j)) / T_{\Phi} \\ \text{— при изменении } j \text{ от } 1 \text{ до } N-1; \\ \psi_{\Phi 1}(j) = \psi_{\Phi 1}(j+1) + (\psi_{\Phi}(j) - \psi_{\Phi 1}(j+1)) / T_{\Phi} \\ \text{— при изменении } j \text{ от } N-1 \text{ до } 1. \end{cases} \quad (12)$$

Программа позволяет значение T_{Φ} выбирать в зависимости от исходных данных, добиваясь минимальных погрешностей искоемых параметров.

Следует отметить, что для такого фильтра на граничных пленгах серии измерений имеется переходный процесс. По этой причине число измеренных пленгов, участвующих в вычислении относительных курсовых углов и далее параметров движения цели, сокращается до $N-6 T_{\Phi}$ (по $2\sum 3 T_{\Phi}$ с каждого края).

Более глубокую фильтрацию можно достичь повышением порядка линейной части фильтра, т. е. проводить интегрирование два раза в прямом и два раза в обратном направлении. Это реализовано в программе с нелинейным фильтром 4-го порядка. Однако при этом сокращается число пленгов, участвующих в определении параметров движения цели на $4T_{\Phi}$ с каждого конца серии измерений.

Некоторые результаты моделирования

На рис. 4, а-е представлены результаты предварительной обработки результатов измерений. Для всех графиков, приведенных на рисунке, на горизонтальной оси отмечены номера измерений пленга, а на вертикальной оси указаны значения пленга в радианах. Условия измерения одинаковые, случайная составляющая погрешности измерений имеет $\sigma = 0,01$ рад, систематическая погрешность равна $0,01$ рад.

Рис. 4, а соответствует алгоритму «Линейная аппроксимация», т. е. предварительной обработке с аппроксимацией линейной функцией, рис. 4, б — алгоритму «Квадратичная аппроксимация», т. е. предварительной обработке с аппроксимацией полиномом 2-го порядка, рис. 4, в — алгоритму «Кубическая аппроксимация», т. е. предварительной обработке с аппроксимацией линейным полиномом 3-го порядка, рис. 4, г — алгоритму «Усреднение на скользящем интервале» с длительностью интервала усреднения $N_{\Phi} = 21$, рис. 4, д — алгоритму «Нелинейный фильтр 2-го порядка» с постоянной фильтра $N_{\Phi} = 10$, рис. 4, е — алгоритму «Нелинейный фильтр 4-го порядка» с постоянной фильтра $N_{\Phi} = 10$.

Сравнение приведенных графиков показывает, что для всего диапазона измерений от 1 до 100 наилучшее приближение к истинным значениям пленга дает алгоритм с квадратичной аппроксимацией, а на среднем участке измерений от 40 до 60 наилучшее приближение у последнего алгоритма.

Очевидно, что систематическая погрешность не затрагивается ни одним из алгоритмов обработки. Для дальнейших вычислений параметров движения цели в четырех последних алгоритмах нецелесообразно использовать все N измерений, необходимо исключить крайние зоны, как это рекомендовано ранее.

Вывод о целесообразности или предпочтительности одного из рассмотренных алгоритмов, включая первый алгоритм «Без фильтрации» сделать нельзя, так как дальнейшая процедура определения параметров движения с усреднением множества получаемых значений может служить мощным фильтром. При этом, чем больше число N измерений в каждой серии, тем большей точности можно ожидать. С другой стороны, чем меньше число измерений, участвующих в дальнейших вычислениях, тем меньше времени затрачивается на определение искоемых параметров.

Основным критерием выбора алгоритма обработки может служить точность определения параметров цели для заданной тактической ситуации (параметры носителя пеленгационного канала и цели-источника излучения), а также модель погрешностей пеленгатора.

Сравним рассмотренные алгоритмы на следующем примере.

Дистанция 60–70 км, курсовые углы $K_{\alpha 1} = -10$ угл. град.; $K_{\alpha 2} = 170$ угл. град., $K_{\alpha} = -45$ угл. град., скорость носителя $V_{\alpha 1} = V_{\alpha 2} = 19$ м/с; скорость $V_{\alpha} = 20$ м/с, число измерений в первой и второй серии 100 с интервалом 1с.

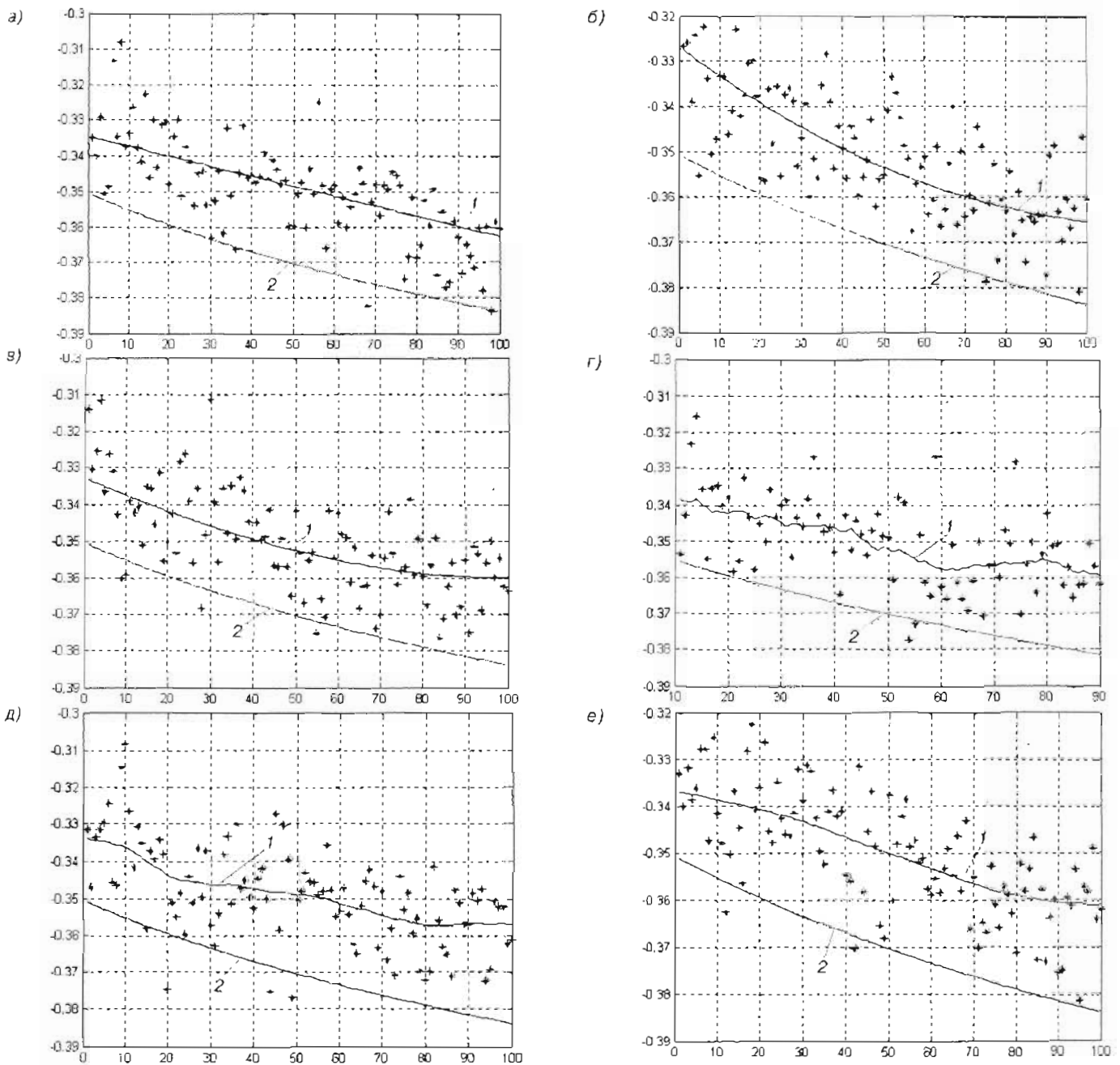
Положим все погрешности пеленгатора равными нулю. Это необходимо для оценки методической погрешности исследуемых алгоритмов.

Результаты вычислений сведены в табл. 1. Здесь для 5-го и 6-го алгоритмов принят интервал усреднения $T_{\Phi} = 3$, а для 7-го и 8-го алгоритмов — $T_{\Phi} = 1$. При таких значениях T_{Φ} методические погрешности минимальные.

Из данных табл. 1 следует, что предпочтение следует отдать 1-му алгоритму. Близкие к нему результаты дают 7-й и 8-й алгоритмы с нелинейными фильтрами. Не пригоден алгоритм с линейной аппроксимацией первого и второго порядка. Попытка улучшить 5-й алгоритм усреднения путем исключения части вычисленных значений (6-й алгоритм) привела к увеличению методической погрешности.

В следующем примере сохраним исходные данные, но введем две составляющие ошибок измерения: центрированную случайную погрешность, распределенную по нормальному закону в интервале 1–200 со среднеквадратическим значением 0,1 угл. град. и постоянную систематическую погрешность 0,1 угл. град.

Результаты вычислений сведены в табл. 2. Здесь для 5-го алгоритма принят интервал усреднения $T_{\Phi} = 21$ и для 8-го — $T_{\Phi} = 7$. При таких значениях T_{Φ} погрешности измерения параметров для описанной ситуации близки к минимальным.



■ Рис. 4. Результаты предварительной обработки результатов измерений различными алгоритмами аппроксимации: а – линейная; б – квадратичная; в – кубическая; г – усреднение на скользящем интервале; д – нелинейный фильтр 2-го порядка; е – нелинейный фильтр 4-го порядка; * – измеренные значения пеленга; 1 – значения пеленга, принимаемые для определения параметров движения цели; 2 – истинные значения пеленга

■ Таблица 1

Алгоритм	1	2	3	4	5	6	7	8
Дистанция, %	10^{-12}	>20,0	>20,0	10,5	0,14	2,3	0,005	0,003
Курс, %	10^{-12}	>20,0	>20,0	4,5	0,21	4,1	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$
Скорость, %	10^{-12}	>20,0	>20,0	14,0	0,33	5,4	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^{-11}$

■ Таблица 2

Алгоритм	1	4	5	8
Дистанция, %	>50	5,1	31,6	3,0
Курс, %	>50	4,5	15	2,7
Скорость, %	>50	42,3	30,2	18,0

В этом случае предпочтение следует отдать 8-му алгоритму

Заключение

Настоящая статья не претендует на завершённое исследование задачи оценки точности определения параметров подвижного источника излучения одним подвижным пеленгатором. Существует значительное число фильтров и способов обработки данных, позволяющих повысить точность измерений, которые не вошли в рассмотренный программный продукт. Однако при заинтересованности потребителя эти исследования могут быть продолжены и программа дополнена соответствующими блоками.

Естественно, что точность каждого из рассмотренных методов в значительной мере определяется параметрами используемых фильтров. Эти параметры можно выбирать оптимальными в зависимости от характеристик ошибок пеленгатора и тактической ситуации (взаимное расположение и движение источника излучения и пеленгатора). При известной модели ошибок пеленгации оптимальные алгоритмы и параметры фильтров можно найти при помощи предложенной программы, например, методом перебора.

Программу можно усовершенствовать, если автоматизировать процесс поиска оптимальных параметров, введя дополнительный цикл перебора искомого параметра и фиксации его значения при минимальной ошибке оцениваемой дистанции, скорости или курса наблюдаемого объекта, а также применительно к конкретной тактической ситуации.

Эта (или подобная) программа может быть использована в экспертных системах оценки возможности или эффективности целеуказания или стрельбы ракетным оружием, опознания судна-нарушителя территориальных вод или заповедных районов.

Приведенные в данной программе алгоритмы могут быть дополнены третьей пространственной координатой, что позволит использовать ее применительно к воздушным источникам излучений и воздушным носителям пеленгатора в качестве источника целеуказания.

Литература

1. Никольцев В. А., Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф. и др. Основные тенденции развития систем управления РО ВМФ на современном этапе // Тр. 4-й Всероссийской НПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Сб. ВМФ России. – СПб.: ФГУП «НПО Специальных материалов», 2001. – С. 57–60.
2. Петров В. А., Подоплекин Ю. Ф., Тарасов В. П. и др. Концепция ЦНИИ «Гранит» по решению проблемы целеуказания РО ВМФ // Тр. 4-й Всероссийской НПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Сб. ВМФ России. – СПб.: ФГУП «НПО Специальных материалов», 2001. – С. 105–107.
3. Шаров С. Н. Основы проектирования информационно-измерительных приборов систем управления движущимися объектами. – СПб.: БГТУ, 1998. – 174 с.
4. Шаров С. Н. Исследование некоторых признаков ориентации движущегося объекта по береговой черте // Изв. вузов. Приборостроение. – Вып. 7–8. – 1994. – С. 32–39.

УДК 623 4 028

ГЕОМЕТРИЯ СИНТЕЗИРОВАНИЯ АПЕРТУРЫ ПРИ ПЕРЕДНЕ-БОКОВОМ ОБЗОРЕ ОБЪЕКТА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ

И. В. Симановский,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Е. А. Войнов,

канд. техн. наук, зам. директора научно-производственного комплекса
Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

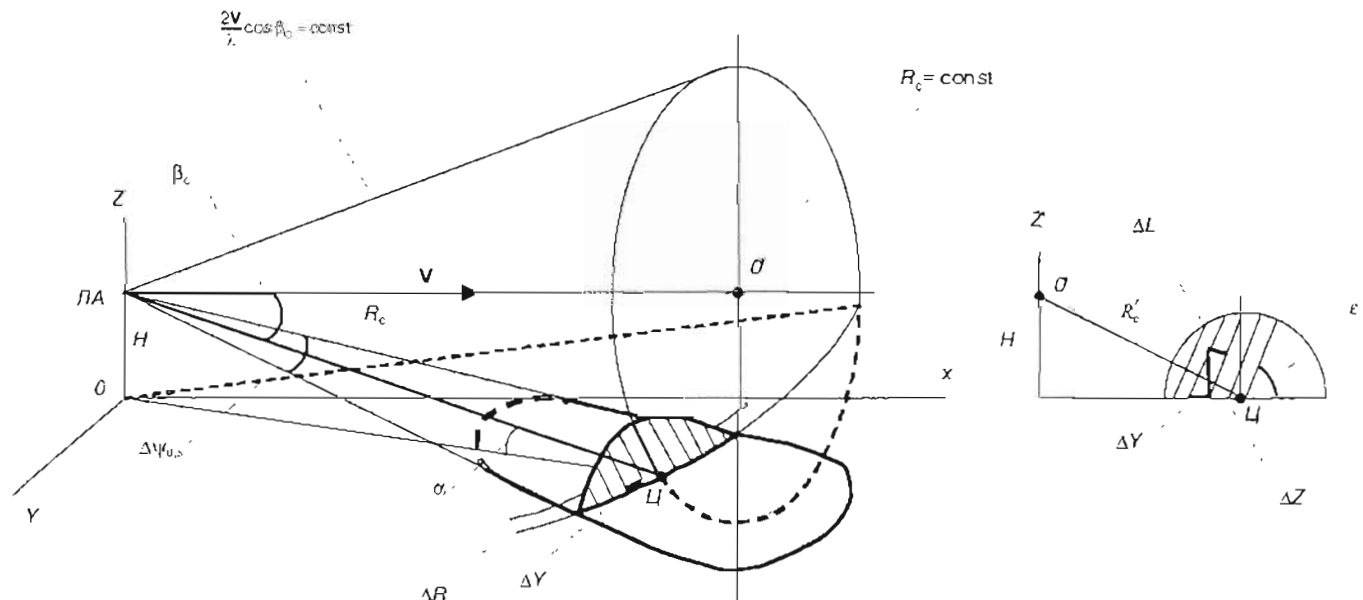
Приведены геометрические соотношения синтезирования при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности, определяющие разрешение РЛС ЛА в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях, а также при сближении ЛА с объектом по траектории, обеспечивающей синтезирование.

Geometrical correlations of synthesizing on forward and side surveillance of a surface marking object that determine the resolution of the aircraft's radar station in horizontal, vertical and oblique planes are listed in the article as well as correlations of synthesizing when the aircraft is approaching the object along the trajectory ensuring synthesizing.

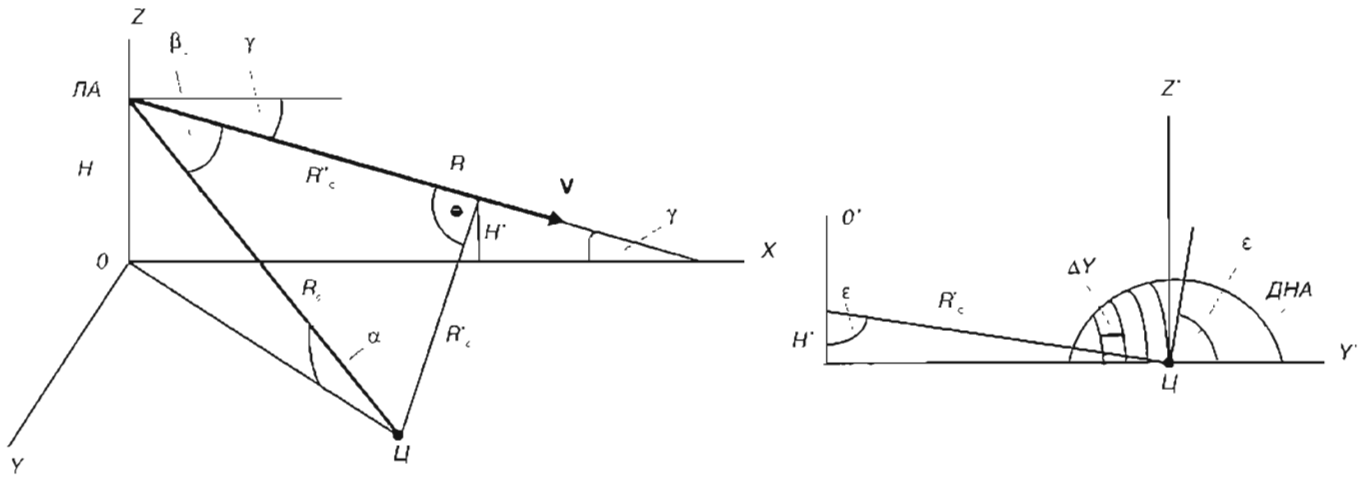
Синтезирование апертуры при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности, имеет свои геометрические особенности.

На рис. 1 представлена пространственная схема синтезирования объекта с летательного аппарата (ЛА), движущегося со скоростью V ($V \parallel OX$) на высоте

H в плоскости ZOX , при этом луч антенны РЛС игольчатой формы с размером $\Delta\psi_{0,5}$ направлен на объект, расположенный на плоскости YOX , под углом синтезирования β_c и углом визирования объекта α на дальности синтезирования R_c .



■ Рис. 1. Схема синтезирования апертуры при передне-боковом обзоре объекта



■ Рис. 4. Схема синтезирования апертуры при негоризонтальном направлении вектора скорости \vec{V}

равен нулю, так как линии разрешения параллельны горизонтальной плоскости, а угловое и линейное разрешения $\Delta\beta$ и ΔZ на дальности R_c осуществляются в вертикальной плоскости в пределах луча $\Delta\Psi_{0,5}$, разрешение же в горизонтальной плоскости определяется размером луча $\Delta\Psi_{0,5}$. Это обстоятельство создает предпосылки для разрешения отдельных элементов объекта по высоте на фоне поверхности, что очень важно для решения задачи высокоточного наведения оружия.

При синтезировании в наклонной плоскости (см. рис. 1) угол наклона линий разрешения к горизонтальной плоскости определяется из очевидных геометрических соотношений.

$$H = R_c \sin \alpha = R'_c \cos \epsilon = R \sin \beta_c \cos \epsilon$$

и равен

$$\epsilon = \arccos \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta_c} \right) \quad (2)$$

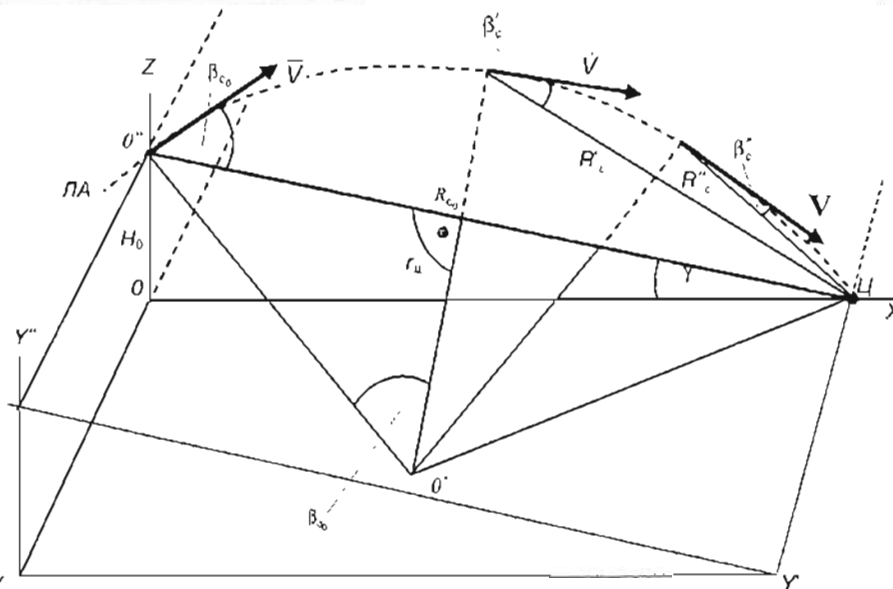
При этом линейные разрешения в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляют:

$$\Delta Y = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon}; \quad \Delta Z = \frac{\Delta L}{\cos \epsilon} \quad (3)$$

В общем случае передне-бокового обзора, когда вектор скорости ЛА \vec{V} не параллелен горизонтальной плоскости (рис. 4), а находится под углом γ к ней, угол наклона линии разрешения к горизонту ϵ определяется из следующих соотношений:

$$\frac{H}{H'} = \frac{R}{R - R'_c} = \frac{R_c \sin \alpha}{R_c \sin \beta_c \cos \epsilon} = \frac{R_c \sin \alpha}{R_c \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} - \cos \beta_c \right) \sin \gamma};$$

$$\epsilon = \arccos \left(\frac{\sin \alpha - \cos \beta_c \sin \gamma}{\sin \beta_c} \right) \quad (4)$$



■ Рис. 5. Схема синтезирования апертуры при сближении ЛА с объектом

а линейные разрешения в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляют: $\Delta Y = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon}$ и

$$\Delta Z = \frac{\Delta L}{\sin \epsilon} \text{ соответственно}$$

Представляет интерес процесс синтезирования при сближении ЛА с объектом, характеризующийся последовательным уменьшением угла синтезирования β_c . На рис. 5 представлен такой случай, когда траектория ЛА (штриховая линия на рисунке) находится в плоскости $O''Y''Z''$, пересекающей горизонтальную плоскость YOX под углом γ . Траектория ЛА $O''C$ представляет собой часть окружности с радиусом циркуляции ЛА r_u с центром O' на плоскости $O''Y''Z''$, определяемой допустимыми перегрузками летательного аппарата. В каждой точке траектории вектор скорости ЛА \mathbf{V} расположен по касательной к

траектории, а угол синтезирования $\beta_c = \arcsin \frac{R_c}{2r_u}$ уменьшается при постоянном радиусе циркуляции $r_u - \beta_{c0} > \beta_c' > \beta_c'' \dots$

Тогда при предельном постоянном времени когерентной обработки $t_k(1)$, выбранном для точки O'' ,

$$t_k = \frac{\sqrt{\lambda R_{c0}}}{2V \sin \beta_{c0}} \quad (5)$$

угловое разрешение $\Delta\beta$ в любой точке траектории $O''C$ составит:

$$\Delta\beta = \frac{\lambda R_{c_i}}{2V t_k \sin \beta_{c_i}} \quad (6)$$

а так как $\sin \beta_{c_i} = \frac{R_{c_i}}{2r_u}$, то линейное разрешение $\Delta L = \Delta\beta \cdot R_{c_i}$ будет равно

$$\Delta L = \frac{\lambda r_u}{V t_k} \quad (7)$$

т. е. не будет зависеть от дальности до объекта R_{c_i} .

Приведенные геометрические соотношения могут быть использованы при разработке алгоритмов синтезирования апертуры.

Литература

1. Толстов Е. Ф., Шаповалов А. В. Разрешающая способность РЛС с синтезированной апертурой антенны при произвольном угле наблюдения // Радиотехника, 1983. – № 3. – С. 3–18.

УДК 621.396.98.629 783

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНО- СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. С. Богданов,

канд. техн. наук, ведущий науч. сотрудник

В. Д. Кедров,

канд. техн. наук, начальник лаборатории

А. М. Тазьба,

главный специалист

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ "Гранит"»

Рассматриваются некоторые вопросы построения высокоточной, надежной и сравнительно недорогой навигационной системы, которая может обеспечить всей необходимой пилотажной и навигационной информацией системы управления воздушных, морских и наземных движущихся объектов различного назначения.

Some problems of the construction of high-accuracy, reliable and comparatively cheap navigation system able to provide control systems of air, naval and ground-based moving objects of different destination with all necessary flight and navigation information are examined.

В 1992 году на базе навигационного отдела ЦНИИ «Гранит» было создано АОЗТ «Гранит-16», которое одним из первых в нашей стране избрало в качестве основного направления своей деятельности разработку перспективной инерциально-спутниковой бесплатформенной навигационной системы (НС) (на базе лазерных гироскопов разработки НПО «Полус», Москва, и аппаратуры спутниковой навигации американских фирм «Trimble» и «Ashtech») для различных воздушных, морских и наземных движущихся объектов (ДО).

К настоящему времени несколько комплектов разработанной системы НСИ-2000 находятся в опытной эксплуатации на самолетах гражданской авиации, и на базе перспективных элементов создается НС, отличающаяся высоким уровнем интегрирования инерциального и спутникового измерителей и новыми техническими характеристиками.

Идеи интегрирования систем (направленные на повышение качества работы каждой входящей системы благодаря использованию в них текущей информации другой системы) являются дальнейшим развитием идей комплексирования выходной информации измерительных систем.

Для эффективной эксплуатации НС требуется, в первую очередь, высокая точность определения всего необходимого объема навигационных параметров, достаточная надежность и длительность

непрерывной работы системы. Кроме того, немалую роль играют массогабаритные характеристики, энергопотребление, ресурс работы и стоимость аппаратуры.

Сравнительный анализ основных требований к НС беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и самолетов показывает, что такие НС имеют много общих характеристик и могут проектироваться как аппаратура двойного назначения, что позволяет достигнуть дополнительного экономического эффекта в таких разработках.

Информационной основой НС по-прежнему выбрана инерциальная навигационная система (ИНС) как вследствие ее свойств автономности и помехозащищенности, так и в связи с тем, что она является единственным измерителем, вырабатывающим полный объем динамически точной пилотажной и навигационной информации для решения всех задач управления ДО.

Учитывая требования к диапазонам возможных изменений углов курса, тангажа и крена, простоту конструкторской реализации и достижение при этом минимальных объемов, занимаемых аппаратурой, а также сравнительную дешевизну изготовления, выбран бесплатформенный (бескарданный) вариант ИНС (БИНС).

Обеспечение высоких требований к точности определения выходных параметров НС требует ис-

пользования информации от другого высокоточного измерителя навигационных параметров, ошибки которого, в отличие от ошибок автономной БИНС, практически не зависят от длительности работы.

В качестве такого измерителя в связи с перспективой постепенного введения в строй спутниковых навигационных систем НАВСТАР (GPS), ГЛОНАСС, WAAS и EGNOS предлагается использовать аппаратуру спутниковой навигации (АСН), которая вырабатывает со сравнительно низкой частотой информацию о географических координатах и скорости ДО. Однако АСН не вырабатывает информацию об угловой ориентации ДО, что не позволяет использовать ее непосредственно для управления и стабилизации. АСН подвержена естественным и организованным помехам и не может в настоящее время быть основным пилотажно-навигационным средством.

Для создания ИС с требуемыми характеристиками предлагается использовать интегрированную инерциально-спутниковую навигационную систему (ИСНС), в которой обмен текущей информацией и оптимальная совместная обработка информации БИНС и АСН позволяют не только вырабатывать требуемый объем выходных данных, но и сохранять высокую точность ИС даже при значительных перерывах в поступлении информации от АСН.

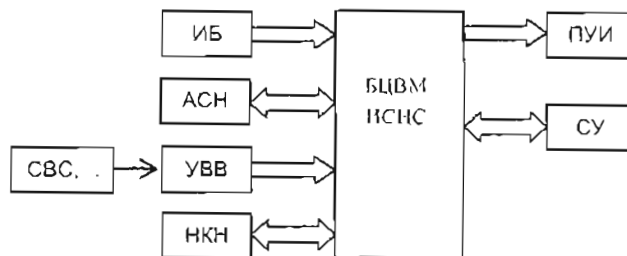
В настоящее время различают несколько уровней интеграции измерительных систем. Наиболее эффективная («высокая») интеграция инерциальной и спутниковой навигационных систем должна осуществляться на конструктивном и функциональном уровнях.

- инерциальная и спутниковая навигационные системы могут иметь общие навигационный процессор, вторичные источники питания, некоторые другие устройства и конструктивно выполняться как единое целое, что максимально уменьшает объем, энергопотребление и стоимость аппаратуры;

- съем информации с инерциальных чувствительных элементов и с АСН может быть аппаратно синхронизирован во времени, что устраняет обычно возникающие погрешности системы в результате несинхронности съема информации,

- в АСН может непрерывно вводиться динамически точная информация от БИНС для повышения устойчивости работы АСН, снижения вероятности и уменьшения длительности перерывов в получении информации от АСН.

На некоторых ДО имеются иные навигационные измерители, например, система воздушных сигналов (СВС), радиовысотомер. В рассматриваемой ИСНС предусматриваются дискретные и аналоговые устройства ввода-вывода для реализации возможности использования выходной информации таких измерителей. Предусматривается также получение по кодовой магистрали информации от навигационного комплекса носителей (НКН) для проведения калибровки чувствительных элементов (ЧЭ) и начальной выставки БИНС перед стартом с движущегося носителя.



■ Структурная схема ИСНС

В соответствии со структурной схемой (см. рис.) в ИСНС входят: инерциальный блок (ИБ) БИНС, БЦВМ, АСН и для пилотируемых ДО пульт управления и индикации (ПУИ).

В качестве инерциальных чувствительных элементов (ЧЭ), в соответствии с тенденциями развития и состоянием освоения отечественной промышленностью новой элементной базы, приняты волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) и кремниевые акселерометры.

По заключению специализированных фирм, при сопоставимых технических параметрах наиболее технологичными и дешевыми инерциальными ЧЭ являются кремниевые акселерометры и волоконно-оптические гироскопы, с которыми по себестоимости в серийном производстве не могут конкурировать лазерные и динамически настраиваемые гироскопы. Поэтому ЦНИИ «Гранит» поддерживает развитие этих чувствительных элементов.

ИБ построен на базе трех ВОГ, имеющих случайную составляющую скорости дрейфа в запуске не более 0,1 угл. мин/мин, и трех кремниевых акселерометров, имеющих случайное смещение «нулевого» сигнала не более $3 \cdot 10^{-4}g$, с необходимой для их функционирования электроникой.

В качестве АСН на ближайшую перспективу наиболее эффективным представляется использование приемников, работающих по комбинированным созвездиям СНС GPS, ГЛОНАСС, WAAS и EGNOS. В настоящее время уже обеспечивается наличие в любом районе Земли достаточного количества навигационных спутников для выбора созвездия из необходимых для работы четырех-пяти навигационных спутников.

Для обеспечения требований по точности ИС могут быть применены естественные образцы АСН, которые позволяют измерять географические координаты и составляющие скорости ДО с максимальными погрешностями

Координаты местоположения, м 30,0
Составляющие скорости, м/с 0,2

Кроме того, в АСН может быть реализован «дифференциальный режим», позволяющий при точном знании географических координат точки установки контрольной АСН и передаче в ИС полученных поправок к определяемым параметрам обеспечить измерение координат ДО с максимальной ошибкой

7 – 10 м в радиусе 1000 км от места установки контрольной АСН.

Если среди используемых навигационных спутников есть спутники систем WAAS или EGNOS, то могут быть получены корректирующие поправки, обеспечивающие точность НС порядка 5 м без организации «дифференциального режима».

Дополнительные возможности повышения точности АСН могут быть реализованы при комбинированной обработке измерений по кодовым сигналам и по фазе несущей частоты.

Одной из основных задач, которую требуется решать в предлагаемой НС, является достижение высокой точности определения навигационных параметров при использовании ЧЭ средней точности, что позволит повысить надежность системы, сократить ее габаритные размеры и минимизировать стоимость системы. При этом основной упор делается на разработку соответствующего программно-математического обеспечения, реализация которого в БЦВМ в настоящее время не сдерживается техническими возможностями БЦВМ.

Основой функциональных алгоритмов ИСНС является единый алгоритм, представляющий собой алгоритм автономной БИНС, оптимальный фильтр Калмана высокого порядка и корректирующие (управляющие) связи от фильтра к БИНС (при этом БИНС становится корректируемой).

Структуру фильтра можно представить в виде двух взаимосвязанных фильтров, один из которых формирует оценки погрешностей БИНС, а второй – оценки погрешностей корректирующих средств. Вектор погрешностей БИНС содержит инструментальные погрешности ЧЭ инерциального блока и погрешности некоторых выходных величин БИНС.

Ввиду переменного во времени состава сигналов от корректирующих навигационных средств (перерывы в работе АСН, изменение режимов ее работы, проведение предполетной подготовки, включение/отключение барометрического высотомера или радиовысотомера и т. д.) фильтр должен иметь переменную структуру.

Такой подход к построению функциональных алгоритмов ИСНС позволяет сохранить достаточно высокую точность определения выходных параметров ИСНС при длительных перерывах в поступлении информации от АСН путем экстраполяции оценок инструментальных погрешностей ЧЭ на основе накопленных измерений.

Теоретические исследования, математическое моделирование и экспериментальные работы показали эффективность созданного комплекса алгоритмов ИСНС и средств его отработки.

Важные выводы были получены в результате анализа зависимости скорости сходимости оценок, производимых фильтром, от изменчивости фазового состояния ДО. При изменении путевой скорости или при совершении маневра погрешности по углам ориентации ДО и по составляющим путевой скорости выявляются и корректируются значительно быстрее, а вслед за этим ускоренно идентифицируются скоро-

сти дрейфа ВОГ и смещения нулевых сигналов акселерометров. Поэтому следует обеспечивать работу фильтра совместной обработки информации БИНС и АСН уже в процессе старта и послестартового маневрирования для БПЛА и при разгоне на взлетно-посадочной полосе – для самолетов. В связи с этим необходимо обеспечить быстрый выход АСН на рабочий режим измерений. Полезно использовать АСН носителя для передачи на ДО в процессе предполетной подготовки альманаха навигационных спутников и другой подготовительной информации.

Следует отметить, что использование АСН с быстрым выходом на режим измерения позволяет решить проблемные вопросы начальной выставки БИНС при старте с подвижного основания (авиационное и морское базирование), одновременно сократить время предполетной подготовки навигационной аппаратуры с обычных 2 – 7 мин до 10 – 30 с.

При использовании для коррекции БИНС участка старта эффективные оценки необходимых величин ИСНС получают через 100 – 200 с работы фильтра (в зависимости от требуемой точности). При этом среди погрешностей устраняются и ошибки калибровки и начальной выставки БИНС, производимых на носителе. Поэтому точность определения навигационных параметров практически не зависит от погрешностей навигационных комплексов носителей и от вида базирования ДО. Перед стартом вполне достаточно «грубой» выставки осей БИНС, что и позволяет сократить время предполетной подготовки навигационной аппаратуры.

Обсуждая результаты работы по созданию БИНС и ИСНС, проведенной в ЗАО «Гранит-16», необходимо отметить, что разработка навигационной аппаратуры как части разрабатываемых бортовых систем управления всегда была одним из важных тематических направлений работы ЦНИИ «Гранит». Более 30 лет назад вместе с появлением идей бесплатформенного построения инерциальных систем в институте стали разрабатываться теоретические предпосылки и обоснование возможностей создания БИНС. Реальное внедрение этих разработок в ОКР сдерживалось трудностями их технической реализации, особенно недостаточными возможностями вычислительных средств.

Исходя из требований к навигационным системам со стороны объектов, для которых они разрабатывались, в институте было обосновано и выбрано направление на использование ЧЭ средней точности, для которых организуется многоуровневая коррекция выходных сигналов, включающая учет паспортных данных, получаемых на заводе-изготовителе, предполетную калибровку ЧЭ, идентификацию и компенсацию в полете оставшихся погрешностей ЧЭ и системы в целом. Таким образом, основной упор делается не на сложные в изготовлении и дорогие прецизионные ЧЭ, а на программно-алгоритмические методы достижения требуемых точностей с ЧЭ средней точности путем комплексирования (интегрирования) инерциальных и радиотехнических измерителей. При этом учитывались перспективы быстрого развития ЦВМ и

различных радионавигационных корректирующих средств, в частности, систем спутниковой навигации.

За прошедшие годы это тематическое направление развивалось в ряде НИР, разработаны и внедрены несколько образцов инерциальных и инерциально-спутниковых систем для БИЛА и самолетов. При этом были установлены рабочие контакты с разработчиками перспективных ЧЭ и АСН. Это позволяет надеяться на создание в ближайшее время достаточно унифицированной высокоинтегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы с техническими характеристиками, соответствующими мировым стандартам.

Литература

1. **Бабич О. А.** Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 511 с.
2. **Бортовые устройства спутниковой радионавигации** / Под ред. В. С. Шебшаевича. – М.: Транспорт, 1988. – 197 с.
3. **Базаров Ю. И., Пшеняник В. С.** Состояние ГЛОНАСС и разработки ее приемников для гражданских потребителей // V Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб., 1998. – С. 97–99.

ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Научно-практический журнал
Рецензируемое издание

Подписные индексы по каталогам «Роспечать»:
«Газеты и журналы» – № 15385, «Издания органов НТИ» – № 69291

Журнал прошел экспертизу у ведущих специалистов ВИНТИ и был признан соответствующим тематическому содержанию Реферативного журнала и баз данных ВИНТИ, реферируется в органах ВИНТИ.

Периодичность – каждые два месяца. **Тираж** – 1000 экз. **Распространяется** только по подписке в России и странах СНГ. Возможна подписка через редакцию по заявке (по почте, телефону, факсу или e-mail), по которой высылаем счет. **Высылаем** по Вашей просьбе (бесплатно) образец журнала для подписки. **Стоимость** годовой подписки (6 номеров) – 1800 руб. (включая НДС 18%), с добавлением стоимости доставки – 90 рублей по России и 300 рублей в страны СНГ.

Приглашаем к сотрудничеству специалистов по построению информационно-управляющих систем, системного анализа и обработки информации, моделирования систем и процессов, совершенствования информационных каналов и сред. Научные статьи, одобренные редколлегией, печатаются бесплатно. Рекламные – согласно расценкам (в рублях, включая НДС 20%):

Цветные полосы		Черно-белые полосы		Скидки при единовременной оплате	
1-я стор. обложки	15000	1 полоса А4	4000	2-х публикаций	10 %
2-я стор. обложки и каждая стр. вкладки	12000	1/2 полосы	2500	3-х публикаций	15 %
3-я стор. обложки	10000	1/2 полосы	1125	4-х и более	20 %
4-я стор. обложки	12000	1/8 полосы	800		

Примечание: при размещении цветного рекламного модуля не менее 1/2 страницы сопутствующая статья (1–2 страницы) печатается бесплатно

Требования к рекламным модулям. Принимаются оригиналы фотографий высокого качества и контрастности. Рекламные модули в файловом виде на компакт-дисках или присланные по e-mail в заархивированном виде (RAR, ZIP) с разбивкой на дискеты предоставляются только в форматах TIFF, JPEG, BMP (с разрешением не меньше 300 dpi), выполненные в программах Adobe Photoshop 5.0, Corel Draw 9 0, 10.0.

УДК 621.398

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕНАЖЕРОВ СЛОЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ

А. С. Васильевский,

канд. техн. наук, начальник лаборатории

Г. А. Коржавин,

канд. техн. наук, генеральный директор

П. Б. Антонов,

канд. техн. наук, зам. генерального директора

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ «Гранит»»

Исследуются основные концепции построения современных тренажеров для моделирования и тренинга сложных комплексов управления объектами.

Basic conceptions of construction of contemporary simulators for simulation and training of complicated complexes for objects control are investigated.

Назначение тренажеров и решаемые ими задачи

ЦНИИ «Гранит», являясь одновременно разработчиком комплексов освещения надводной обстановки и целеуказания (КОНО и ЦУ) и систем управления ПКР (СУ ПКР), в интересах повышения эффективности решения задач создает тренажерные комплексы.

Тренажер комплекса с ПКР предназначен для автономной подготовки операторов КОНО и ЦУ, автономной подготовки операторов СУ ПКР и комплексной (совместной) подготовки операторов двух систем [1].

Тренажеры должны обеспечивать:

- изучение штатной аппаратуры КОНО и ЦУ, СУ ПКР;
- тренировку при работе как КОНО и ЦУ, так и СУ ПКР автономно и при совместной работе операторов комплексов с фиксацией и отображением результатов их тренировок и выдачей рекомендаций;
- имитацию звуковой и визуальной тактической обстановки от момента получения начальной команды до определения конечного результата, включающего отображение района действий, совмещенного с картографической информацией, сил и средств противоборствующих сторон, старта, полета ПКР и результатов ее применения;
- возможность задания и управления силами и средствами противоборствующих сторон по времени и пространству;

– имитацию реального режима, происходящего при работе операторов для штатной работы КОНО и ЦУ, СУ ПКР, включая визуальное отображение операторам, работу операторов, реакцию тренажера на действия операторов;

– проведение анализа тренировок и разбора деятельности операторов;

– контроль за ходом тренировки операторов со стороны лица, проводящего обучение (руководителя обучения), участие его в установке начальных данных на работу, текущей обстановке и оценке деятельности операторов

Состав и структура тренажера

Для выполнения поставленных задач предлагается следующий структурный состав тренажера [2]:

- имитаторы пультов операторов КОНО и ЦУ;
- имитаторы пультов операторов СУ ПКР;
- имитаторы внешних систем для КОНО ЦУ, СУ ПКР;
- класс коллективного обучения на базе комплекса моделирования и тренинга с его компьютерным окружением.

Имитаторы пультов операторов КОНО и ЦУ, СУ ПКР предназначены для практической работы и тренинга в реальном масштабе времени личного состава соответствующих комплексов в основных режимах работы.

Класс коллективного обучения на базе комплекса моделирования и тренинга должен обеспечивать:

- теоретическую подготовку и тренинг личного состава КОНО и ЦУ, СУ ПКР;
 - контроль за ходом тренировки личного состава расчетов комплекса и участие руководителя обучения в оценке решения боевой задачи;
 - анализ и разбор тренировок расчетов, входящих в тренажер комплексов.
- Имитаторы внешних систем для КОНО и ЦУ, СУ ПКР обеспечивают работу внешних систем в реальном масштабе времени.

Комплекс моделирования и тренинга

Комплекс моделирования и тренинга строится на базе проекционных систем и их компьютерного окружения и предназначен для коллективного обучения и тренинга в условиях, максимально имитирующих реальные действия тех или иных участников виртуальных событий. Разрабатываемая интерактивная технология моделирования и тренинга обеспечивает моделирование в реальном масштабе времени поведения нескольких противодействующих управляемых систем (например, групповых систем) с учетом изменяющихся природных факторов в условиях внешней информационной среды.

Комплекс моделирования и тренинга обеспечивает следующие режимы функционирования:

1) демонстрационный режим, при котором серия процедурных шагов демонстрируется автоматически по ходу занятия,

2) инструкторский режим, при котором обучаемый изучает процедурные подэтапы с помощью инструктора или самостоятельно; каждое его действие идентифицируется как правильное или неправильное;

3) режим обучения с контролем, при котором действия оператора наблюдаются для коррекции с возможностью обратной связи с инструктором;

4) оценочный режим, при котором действия оператора оцениваются и записываются; обратная связь не вводится.

5) свободный режим, при котором обучаемый может по своему желанию выбирать процедуру и оценивать свои действия.

Для реализации поставленных задач комплекс моделирования и тренинга включает:

1) демонстрационную компьютерную обучающую систему;

2) процедурную обучающую систему (процедурный тренинг).

Демонстрационная компьютерная обучающая система предназначена для реализации 1-го и частично 2-го режимов обучения и должна включать в себя локальную вычислительную сеть, объединяющую рабочие места учеников и центральный компьютер инструктора, подключенный к проекционной системе, передающей изображение на экран, установленный перед обучаемыми.

Компьютерная обучающая система обеспечивает:

- получение знаний в конкретной предметной области;
- ускоренное обучение на последующих этапах обучения, использующих процедурные комплексные тренажеры;
- реализацию возможности ассоциативного обучения с самого его начала;
- прохождение инструктажа перед началом занятий на процедурной обучающей системе (комплексных тренажерах) и анализ результатов работы на ней;
- адаптацию курсов к существующим стандартам;
- обучение с целью понимания взаимодействия различных систем управления;
- поддержку дальнейшего обучения и устранение эффектов недоверия процесса обучения на стендах.

Процедурная обучающая система реализует 2-, 3-, 4- и 5-й режимы обучения и включает в себя ЛВС, объединяющую управляющие компьютеры, имитирующие работу различных систем, графическую рабочую станцию, моделирующую динамические процессы в реальном масштабе времени, и панорамную проекционную систему, отображающую на экранах в реальном масштабе времени условное изображение приборов и внешней обстановки, а также органов управления с характеристиками, схожими с реальными.

Процедурная обучающая система обеспечивает обучение операторов РУК навыкам взаимодействия с приборами в штатных и аварийных ситуациях.

Процедурная обучающая система в максимальной степени приближает условия работы операторов к реальным. Для этой цели в состав системы входит система панорамного изображения, состоящая из проекционной аппаратуры, графическая рабочая станция, средства мультимедиа, с помощью которых имитируется реальная обстановка (зрительная, звуковая и пр.).

Для реализации этих требований ПМО структурировано таким образом, чтобы в максимальной степени использовать имеющееся программное обеспечение полунатурного моделирования, и включает специальные ауторинг-программы (обучающие – «Гипер метод», «Эверест») и алгоритмы, позволяющие осуществлять выбор задания и условий его выполнения, контроль и анализ процесса выполнения задания и управление процессом обучения и моделирования.

Управляющая часть программного комплекса строится на базе экспертной системы реального времени.

Основные функции системы.

- обеспечение имитации работы различных систем;
- обмен информацией между системами в реальном масштабе времени;
- моделирование ситуаций в реальном масштабе времени;

- моделирование поведения противодействующих управляемых систем;
- выбор заданий и условий их выполнения;
- текущий контроль и анализ процесса выполнения задания и управление процессом обучения;
- формирование подсказок или рекомендаций, выбор альтернативных действий;
- демонстрация неправильных действий оператора и последствия таких действий

В основу технического решения предлагаемой системы заложены подходы и концепция технологии интеллектуальных систем.

Литература

1. Коржавин Г. А., Антонов П. Б. Корабельные и тренажерные комплексы обеспечения целеуказанием и управления оружием // Военный парад. - № 6 (24). - 1997. - С. 60-62.
2. Антонов П. Б., Коржавин Г. А. и др. Многопроцессорная система управления судовыми техническими средствами // Труды II Междунар. конф. «Моринтех-97». - СПб., 1997. - С. 19-22.

У МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ"

SICPRO '06

30 января – 02 февраля 2006 года

Место проведения конференции: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН
Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, дом 65.

Председатель конференции: И. В. Прангишвили
Председатель Международного Программного комитета: В. А. Лотоцкий
Председатель Национального Организационного комитета: И. В. Прангишвили

Тематика конференции

Общие **проблемы** системных **методологий**
Математические задачи теории управления
Системы управления с идентификатором
Параметрическая идентификация
Непараметрическая идентификация
Структурная идентификация и разведочный анализ данных
Идентификация и исследование моделей процессов выбора и принятия решений
Идентификация организационных систем
Методы и процедуры получения и анализа экспертных **оценок**
Нейронные сети и проблемы идентификации
Теория нечетких множеств и проблемы идентификации

Идентификация систем для целей диагностики
Моделирование систем
Имитационное моделирование
Методическое и программное обеспечение идентификации и моделирования
Верификация и проблемы качества программно-го обеспечения сложных систем
Глобальные сетевые ресурсы поддержки процессов идентификации, управления и моделирования
Методики обучения методологии и технологии идентификации
Научно-биографические исследования
Психологические аспекты идентификации

Дополнительная информация и справки:

Жарко Елена Филипповна
Тел/факс: +7 (095) 334-89-90

e-mail: sicpro@ipu.ru

<http://www.sicpro.org>

**АНДРИЕВСКИЙ
Валентин
Ростиславович**



Начальник лаборатории динамики управления ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», старший научный сотрудник, профессор Балтийского государственного технического университета «Военмех». В 1958 году окончил Ленинградский военно-механический институт по специальности «Инженер-механик – жидкостные ракетные двигатели и летательные аппараты». В 1964 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 60 научных публикаций. Область научных интересов – автоматизация обработки информации и принятия решений, повышение качества систем автоматического управления подвижными объектами.

**АНТОНОВ
Павел
Борисович**



Заместитель генерального директора ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», директор научно-производственной программы. В 1969 году окончил Ленинградский государственный университет. В 1974 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – комплексирование сложных многофункциональных информационно-управляющих систем управления оружием, освещения обстановки и целеуказания для кораблей ВМФ, разработка методов компьютерного моделирования сложных многофункциональных автоматизированных систем и тренажеров.

**БАЖИН
Сергей
Александрович**



Старший преподаватель кафедры моделирования вычислительных и электронных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1980 году окончил Ленинградский институт аэрокосмического приборостроения по специальности «Радиоэлектронные системы». Является автором одиннадцати научных публикаций. Область научных интересов – обработка информации в условиях априорной неопределенности, математическое моделирование стохастических процессов и полей.

**БОГДАНОВ
Виктор
Степанович**



Ведущий научный сотрудник ЗАО «Гранит-16». В 1958 году окончил конструкторский факультет Военно-механического института. В 1971 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 20 научных публикаций и 72 изобретений, на которые получены авторские свидетельства. Область научных интересов – разработка алгоритмов управления полетом летательных аппаратов различных классов по заданным траекториям.

**ВАСИЛЬЕВСКИЙ
Александр
Сергеевич**



Начальник лаборатории ФГУП «ЦНИИ "Гранит"». В 1968 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В 1978 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 57 научных публикаций. Область научных интересов – искусственный интеллект и имитационное моделирование.

**ВОЙНОВ
Евгений
Анатолевич**



Главный специалист, заместитель директора научно-производственного комплекса ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», доктор электротехники, член-корреспондент Российской академии электротехнических наук, лауреат премии Правительства РФ за 2000 год. В 1961 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Электронные устройства управления летательных аппаратов». В 1997 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – помехозащищенность систем самонаведения летательных аппаратов.

**ДАВИДЧУК
Андрей
Геннадьевич**



Аспирант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1998 году окончил Санкт-Петербургский государственный технический университет. Является автором шести научных публикаций.

Область научных интересов – разработка математических моделей, технологии программирования, объектно-ориентированное проектирование.

**КЕДРОВ
Владимир
Давидович**



Начальник лаборатории навигационных систем ФГУП «ЦНИИ «Гранит»»

В 1969 году окончил приборостроительный факультет Ленинградского кораблестроительного института

В 1982 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук

Является автором восьми научных публикаций и 30 изобретений, на которые получены авторские свидетельства и патенты. Область научных интересов – вопросы построения интегрированных навигационных систем для летательных аппаратов.

**КОРЖАВИН
Георгий
Анатольевич**



Генеральный директор ФГУП «ЦНИИ «Гранит»», заведующий базовой кафедрой вычислительных комплексов ГУАП, заслуженный конструктор РФ, академик Международной академии информатизации, академик Санкт-Петербургской инженерной академии.

В 1970 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения.

В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором около 100 научных публикаций, в том числе 30 патентов и изобретений.

Область научных интересов – разработка сложных систем управления ракетным и торпедным оружием, бортовых и корабельных систем управления, систем целеуказания.

**ЛОСЬ
Андрей
Павлович**



Старший научный сотрудник, заместитель начальника Управления Федерального Государственного унитарного предприятия «Первый Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны России»

В 1971 году окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А.С. Попова.

В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – радиотехнические системы обнаружения и классификации.

**МАЛЬЦЕВ
Олег
Григорьевич**



Начальник научно-технической лаборатории ФГУП «ЦНИИ «Гранит»»

В 1975 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Электрооборудование летательных аппаратов».

В 1989 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 70 научных публикаций.

Область научных интересов – объединение и совместная обработка (оценивание, принятие решений) данных от пространственно разнесенных источников информации.

**НИКОЛЬЦЕВ
Владимир
Александрович**



Советник Генерального директора ФГУП «ЦНИИ «Гранит»» по НИОКР, заведующий базовой кафедрой бортовых систем управления ГУАП, доктор электротехники, Российской академии электротехнических наук, Санкт-Петербургской инженерной академии, лауреат премии Правительства РФ за 1995 год.

В 1963 году окончил Ленинградский институт точной механики и оптики.

В 1975 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Является автором более 150 научных публикаций и изобретений.

Область научных интересов – корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы.

**ПОДОПЛЕКИН
Юрий
Федорович**



Заместитель генерального директора, директор по науке ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», заведующий базовой кафедрой радиотехнических систем ГУАП, академик Российской академии электротехнических наук, Российской академии ракетно-артиллерийских наук, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ за 2000 г. В 1962 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 200 научных публикаций. Область научных интересов – разработка сложных комплексов управления подвижными объектами.

**СИМАНОВСКИЙ
Игорь
Викторович**



Заместитель генерального директора, директор научно-производственного комплекса ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», доктор электротехники, академик академии электротехнических наук, лауреат премии и медали им. акад. В. Н. Челомея и премии Правительства РФ за 2000 год. В 1962 году окончил Ленинградский институт точной механики и оптики. В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – создание перспективных многофункциональных комплексов систем управления, корабельных систем управления ЛА, тренажеров личного состава.

**ТАЗЬБА
Александр
Меерович**



Главный специалист ФГУП «ЦНИИ "Гранит"» по интегрированным навигационным системам. В 1970 году окончил Ленинградский институт точной механики и оптики. Является автором двенадцати научных публикаций и шести изобретений, по которым получены авторские свидетельства и патенты. Область научных интересов – вопросы построения алгоритмов интегрированных навигационных систем для летательных аппаратов.

**ШАРОВ
Сергей
Николаевич**



Начальник научно-аналитического отдела ФГУП «ЦНИИ "Гранит"», профессор Балтийского государственного технического университета «Военмех», член-корреспондент Российской академии ракетно-артиллерийских наук, Российской академии электротехнических наук. В 1962 г. окончил факультет систем автоматического управления Ленинградского механического института. В 1981 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 250 научных публикаций (из которых 13 книг) и около 130 изобретений. Область научных интересов – нелинейные системы управления, информационные каналы движущихся объектов.

**ШЕПЕТА
Александр
Павлович**



Декан факультета вычислительных систем и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заведующий кафедрой моделирования вычислительных и электронных систем, профессор. В 1972 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 170 научных публикаций, соавтором двух монографий. Область научных интересов – обработка информации в условиях априорной неопределенности, математическое моделирование стохастических процессов и полей.

УДК 623.4.084

Математическая модель оценки оптимального архитектурного обеспечения корабельных систем управления различного назначения

Коржавин Г. А. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 3–6.

Приводится математическая модель, лежащая в основе построения наиболее перспективных вариантов архитектурного построения корабельных систем управления (КСУ).

Список лит.: 4 назв.

УДК 621.391.826; 681.5

Экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей, наблюдаемых локаторами бортовых систем обработки информации

Шепета А. П., Бажин С. А., Давидчук А. Г. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 7–12.

В работе рассматриваются, имеющиеся в литературе экспериментальные характеристики эхо-сигналов кораблей. На основе этих характеристик определяются параметры многомерного закона распределения флюктуаций амплитуд и длительностей эхо-сигналов кораблей с учетом экспериментальных корреляционно-спектральных характеристик эхо-сигналов.

Список лит.: 9 назв.

УДК 621.398

Выбор критических реализаций и его сочетание с другими методами ускорения статистического эксперимента

Подоплекин Ю. Ф., Андриевский В. Р. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 13–15.

Рассматривается возможность применения метода отбора критических реализаций случайных факторов для решения общей задачи оценки вероятностных показателей качества исследуемой системы. Показывается возможность использовать выбор критических реализаций в сочетании с другими методами сокращения трудоемкости статистического эксперимента: «выделения главной части» и «расслоенной выборки».

Список лит.: 7 назв.

УДК 623.4.084

Mathematical model of estimation of optimal architectural support of shipborne control systems of different destination

Korzhavin G. A. – IUS, 2005. – N 2. – P. 3–6.

The mathematical model being the basis of the development of the most perspective versions of the architectural construction of shipborne control systems (SCS) is listed.

Refs: 4 titles.

УДК 621.391.826; 681.5

Experimental characteristics of ships echo - signals, observable by radars of onboard systems of information processing

Shepeta A. P., Bazhin S. A., Davidchuk A. G. – IUS, 2005. – N 2. – P. 7–12.

The experimental characteristics of echo - signals of the ships available in the scientific literature are considered in the paper. On the basis of these characteristics, parameters of the multidimensional law of distribution of amplitudes' fluctuations and duration of ships echo - signals are defined with consideration of experimental correlation and spectral characteristics of echo-signals.

Refs: 9 titles.

УДК 621.398

Sampling of critical realizations and its combination with other methods of acceleration of a statistical experiment

Podoplekin Yu. F., Andriyevskiy V. R. – IUS, 2005. – N 2. – P. 13–15.

The possibility of application of the method of sampling of random factors critical realizations for the solution of the general problem of estimation of probability rates of the investigated system quality is examined. Availability of sampling of critical realizations combined with other methods of labor saving of a statistical experiment such as «leading part separation» and «stratified sample» is discussed.

Refs: 7 titles.

УДК 623.4.084

Моделирование перспективных корабельных систем управления

Антонов П. Б., Коржавин Г. А., Симановский И. В. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 16–17.

Рассматриваются основные проблемы, связанные с моделированием при выборе архитектурного построения корабельных систем управления (КСУ).

Список лит.: 8 назв.

УДК 621.398

Комплексная отработка сложных систем методом полунатурного моделирования

Андриевский В. Р., Симановский И. В., Подоплекин Ю. Ф. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 18–21.

Рассматриваются определение круга задач центров полунатурного моделирования, опыт и возможности динамического испытательного комплекса ЦНИИ «Гранит».

Список лит.: 2 назв.

УДК 623.93

Перспективные тенденции в проектировании технических комплексов кораблей ВМФ

Никольцев В. А., Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф., Васильевский А. С. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 22–28.

Рассматриваются основные научные концепции, использующие технологии искусственного интеллекта в задачах управления современным оборонным предприятием и проектирования корабельных систем управления перспективных архитектур.

Список лит.: 2 назв.

УДК 681.883

Классификация надводных объектов по радиолокационному изображению

Войнов Е. А., Подоплекин Ю. Ф. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 29–31.

Рассматривается возможность классификации надводных объектов, основанной на оценке информативных признаков – продольного и поперечного размеров, радиальной скорости и архитектуры объекта по его радиолокационному образу, полученному путем синтезирования апертуры РЛС ЛА в передне-боковом обзоре, и вынесения решения о классе объекта при сравнении значения статистической решающей функции информативных признаков с пороговым уровнем.

Список лит.: 2 назв.

УДК 623.4.084

Simulation of perspective shipborne control systems
Antonov P. B., Korzhavin G. A., Simanovskiy I. V. – IUS, 2005. – N 2. – P. 16–17.

Basic problems connected with simulation on selection of the architectural construction of shipborne control systems (SCS) are examined.

Refs: 8 titles.

УДК 621.398

Integrated adjustment of complex systems with the scaled-down simulation mode

Andrievskiy V. R., Simanovskiy I. V., Podoplekin Yu. F. – IUS, 2005. – N 2. – P. 18–21.

Determination of the range of problems for centers of scaled-down simulation as well as experience and facilities of the dynamic test complex of the CRI «Granit» are examined.

Refs: 2 titles.

УДК 623.93

Perspective tendencies in designing of technical complexes of naval ships

Nikolcev V. A., Korzhavin G. A., Podoplekin Yu. F., Vasilevskiy A. S. – IUS, 2005. – N 2. – P. 22–28.

Basic scientific conceptions using artificial intelligence technologies for solving of problems of management of a contemporary defense enterprise and for designing of shipborne control systems of perspective architectures are examined.

Refs: 2 titles.

УДК 681.883

Radar image classification of surface objects

Voynov E. A., Podoplekin Yu. F. – IUS, 2005. – N 2. – P. 29–31.

The possibility of surface objects classification based on the estimation of informative characteristics – longitudinal and transversal sizes, range rate and the architecture of the object according to its radar image received by means of synthesizing of aperture of the aircraft's radar station on forward and side surveillance is examined as well as the possibility of the decision of the class of the object on comparison of the statistical decision function of informative characteristics with the threshold level.

Refs: 2 titles.

УДК 621.396.963

Оценка числа объектов в группе по результатам ее обнаружения радиолокационными станциями многопозиционной радиолокационной системы

Мальцев О. Г. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 32–35

Методом максимального правдоподобия оценивается число объектов в группе по результатам ее обнаружения радиолокационными станциями многопозиционной радиолокационной системы. Уравнение максимального правдоподобия решается методом последовательных приближений, а точность оценки (нижняя и верхняя границы ее доверительного интервала) исследуется методом статистического моделирования на ЭВМ.

Список лит.: 2 назв.

УДК 623.98

Развитие методов классификации процессов в дискретном времени по прямым и косвенным измерениям

Лось А. П., Войнов Е. А. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 36–38

Предложены новые алгоритмы распознавания, работающие в условиях ограничений на время наблюдения и при создании помех. В основе разработанного подхода использован последовательный принцип обработки информации, включающий комплексную систему фильтрации и классификации сигналов по мере их поступления. Особенностью предлагаемого подхода является использование динамического потраекторного описания сигнала на основе дифференциальных уравнений и оптимальных правил останова, позволяющих минимизировать сумму вероятностей ошибок классификации. Приведены результаты моделирования при классификации сигналов по ширине спектра в условиях шумовой помехи.

Список лит.: 2 назв.

УДК 621.396.67

Оценка точности измерения параметров движения источника излучения маневрирующим пеленгатором

Шаров С. Н. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 39–46.

Приводится описание программы исследований точности измерения параметров движения носителя источника радиоизлучения при помощи радиопеленгатора, расположенного на маневрирующем носителе. Рассмотрены различные алгоритмы обработки результатов измерений текущего пеленга и даны рекомендации по их использованию в различных тактических ситуациях.

Список лит.: 4 назв.

УДК 621 396.963

Estimation of the quantity of objects in a group by results of its detection by radar stations of the multiposition radar system

Malcev O. G. – IUS, 2005. – N 2. – P. 32–35

The maximum-likelihood method estimates the quantity of objects in a group by results of its detection by radar stations of the multiposition radar system. The equation of maximum-likelihood is solved with the method of successive approximations and the precision of estimate (low and upper bound of its confidence interval) is studied with the method of statistical modeling on a computer.

Refs: 2 titles.

УДК 623.98

Development of methods of classification of processes in discrete time by means of direct and indirect measurements

Los A. P., Voynov E. A. – IUS, 2005. – N 2. – P. 36–38

New recognition algorithms operating in conditions of constraint on the observation period and under jamming are proposed. Sequential principle of information processing including the combined system of filtration and classification of signals as they enter is used as the developed approach basis. The proposed approach peculiarity is the use of dynamic trajectorywise description of a signal based on differential equations and optimal rules of stopping allowing to minimize the sum of probabilities of classification errors. Results of simulation on spectrum width classification of signals in conditions of noise interference are listed.

Refs: 2 titles.

УДК 621.396.67

Estimate of accuracy of measurement of parameters of moving of radiation source by means of a maneuvering direction finder

Sharov S. N. – IUS, 2005. – N 2. – P. 39–46.

The description of the program of investigations of accuracy of measurement of parameters of moving of a bearer of radiation source by means of a direction finder onboard a maneuvering bearer is listed. Different algorithms of processing of the current bearing measurement results are examined and recommendations on their use in different tactical situations are made.

Refs: 4 titles.

УДК 623.4.028

Геометрия синтезирования апертуры при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности

Симановский И. В., Войнов Е. А. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 47–50.

Приведены геометрические соотношения синтезирования при передне-боковом обзоре объекта, расположенного на поверхности, определяющие разрешение РЛС ЛА в горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостях, а также при сближении ЛА с объектом по траектории, обеспечивающей синтезирование.

Список лит.: 1 назв.

УДК 621.396.98:629.783

Особенности построения интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем

Богданов В. С., Кедров В. Д., Тазьба А. М. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 51–54.

Рассматриваются некоторые вопросы построения высокоточной, надежной и сравнительно недорогой навигационной системы, которая может обеспечить всей необходимой пилотажной и навигационной информацией системы управления воздушных, морских и наземных движущихся объектов различного назначения.

Список лит.: 3 назв.

УДК 621.398

Основные принципы построения тренажеров сложных комплексов управления объектами

Васильевский А. С., Коржавин Г. А., Антонов П. Б. – Информационно-управляющие системы, 2005. – № 2. – С. 55–57.

Исследуются основные концепции построения современных тренажеров для моделирования и тренинга сложных комплексов управления объектами.

Список лит.: 2 назв.

УДК 623.4.028

Geometry of aperture synthesizing while forward and side surveying of a surface marking object

Simanovskiy I. V., Voynov E. A. – IUS, 2005. – N 2. – P. 47–50.

Geometrical correlations of synthesizing on forward and side surveillance of a surface marking object that determine the resolution of the aircraft's radar station in horizontal, vertical and oblique planes are listed in the article as well as correlations of synthesizing when the aircraft is approaching the object along the trajectory ensuring synthesizing.

Refs: 1 titles.

УДК 621.396.98:629.783

Peculiarities of the construction of integrated inertial satellite navigation systems

Bogdanov V. S., Kedrov V. D., Tazba A. M. – IUS, 2005. – N 2. – P. 51–54.

Some problems of the construction of high-accuracy, reliable and comparatively cheap navigation system able to provide control systems of air, naval and ground-based moving objects of different destination with all necessary flight and navigation information are examined.

Refs: 3 titles.

УДК 621.398

Basic principles of construction of simulators of complicated complexes for objects control

Vasilevskiy A. S., Korzhavin G. A., Antonov P. B. – IUS, 2005. – N 2. – P. 55–57.

Basic conceptions of construction of contemporary simulators for simulation and training of complicated complexes for objects control are investigated.

Refs: 2 titles.

Тагарин К. Ю. приносит извинения за ошибку, допущенную в статье «Математические модели и быстрые алгоритмы векторно-разностного кодирования цифровых речевых сигналов», № 1, 2005 год.

На стр. 7 в подписочной подписи рис. 5 следует читать: Граф прямого ПБПФ. На стр. 8. в подписочной подписи рис. 6 следует читать: Граф обратного ПБПФ.



Историческое здание ЦНИИ “Гранит”.

Построено в 1914 году. Архитектор – преподаватель
Инженерной академии по отделу архитектуры,
полковник В. П. Апышков.

Гр^цан^иит

ДОВЕРЯЙ ОПЫТНОМУ



- РЛС окружающей обстановки и выработка точных координат обнаруженных объектов
- комплексы управления различными техническими средствами кораблей

- тренажеры сложных комплексов управления объектами
- бортовые локационные системы, включая многоканальные



ISSN 1684-8853



9 771684 885009



Госпитальная ул., 3 С.-Петербург 191014
Телефон: +7(812)271-6756 Факс: +7(812)274-6339
E-mail: cri-granit@peterlink.ru